

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра

«Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль)/специальности)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Измеритель-регистратор электрических параметров

Обучающийся

Т.А. Агаджанян

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, Е.С. Глибин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

О.А. Головач

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, восьми разделов, одной таблицы, 37 рисунков, заключения, списка литературы, включая зарубежные источники. Определены актуальность темы, цель работы, в заключении сделаны выводы о проделанной работе. Объем выпускной работы составляет 61 страницу.

В работе разработан измеритель-регистратор электрических параметров.

Целью данной работы является разработка и создание измерителя-регистратора электрических параметров, способного точно измерять и регистрировать основные параметры электрической сети переменного тока. Устройство способно измерить напряжение, силу тока, рассчитывать мощность, а также сохранять эти данные на карту памяти для последующего анализа. В рамках выполнения работы проведены тестирования для подтверждения точности измерений.

Выпускная работа может быть разделена на следующие разделы: анализ рынка и актуальность разработки, выбор комплектующих для регистратора, с обоснованием выбора, разработка структурной схемы с перечнем оборудования, разработка схемы электрических соединений, разработка программных алгоритмов, результаты экспериментальных испытаний, безопасность и экологичность проекта, экономических расчет.

В завершении работы сделаны выводы. Полученные результаты соответствуют поставленной цели.

ABSTRACT

Graduate qualification work consists of an introduction, eight sections, one table, 37 figures, conclusion, list of literature, including foreign sources. The relevance of the topic and the purpose of the work are defined, and in the conclusion conclusions are drawn about the work done. The volume of the final work is 61 pages.

In the work is developed meter-recorder of electrical parameters.

The purpose of this work is to develop and create a meter-register of electrical parameters, capable of accurately measuring and recording the main parameters of the electrical network of alternating current. The device is capable of measuring voltage, amperage, calculating power, and storing this data on a memory card for later analysis. As part of the work performed tests to confirm the accuracy of measurements.

The graduate work can be divided into the following sections: market analysis and relevance of the development, selection of components for the recorder, with justification of the choice, development of a structural diagram with a list of equipment, development of electrical connection diagrams, development of software algorithms, results of experimental tests, safety and environmental friendliness of the project, economic calculation.

At the end of the work conclusions are drawn. The obtained results correspond to the set goal.

Содержание

Введение	5
1 Анализ рынка и актуальность разработки	8
1.1 KD7 – Электронный регистратор параметров.....	8
1.2 Регистратор параметров электрических сетей MI-1AC	9
1.3 Регистратор параметров электрических сетей MI-3AC	11
1.4 Регистратор электрических параметров РПМ-416.....	13
1.5 Анализатор качества электроэнергии Omix P1414-MA-3R.....	14
1.6 Сравнительная таблица регистраторов электрических параметров	15
1.7 Актуальность разработки собственного регистратора	17
2 Выбор комплектующих для измерителя-регистратора электрических параметров.....	19
2.1 Выбор микроконтроллера.....	23
2.2 Выбор и настройка датчика напряжения	24
2.3 Выбор и настройка датчика тока.....	30
2.4 Выбор LCD дисплея.....	35
2.5 Выбор способа ввода информации	37
2.6 Выбор модуля SD карты	38
2.7 Выбор блока питания.....	39
3 Разработка структурной схемы устройства	40
4 Разработка электрической схемы соединений.....	42
5 Разработка программного алгоритма работы измерителя-регистратора электрических параметров.....	44
6 Результаты экспериментальных испытаний	52
7 Безопасность и экологичность проекта.....	55
8 Экономическая эффективность	57
Заключение	58
Список используемой литературы и используемых источников	59

Введение

Электрические измерения представляют собой методики, приборы и расчеты, применяемые для оценки электрических величин. Они используются для измерения параметров электрических систем. Электрические параметры описывают измеряемые значения или явления, связанные с характеристиками поведения электронных схем, компонентов или полупроводников. Электрические измерения – это процедуры, осуществляемые при помощи специализированных измерительных устройств. В результате этих процессов получается информация о техническом состоянии электрических сетей и возможностях их улучшения, о способах сокращения числа несчастных случаев, аварийных ситуаций или пожаров [17].

В электротехнике можно измерять множество параметров, связанных с электрическими системами и устройствами. В зависимости от конкретной задачи могут быть использованы и другие параметры и методы измерений. Рассмотрим некоторые из них:

- напряжение (напряжение источника питания, напряжение на различных участках электрической сети);
- ток (сила электрического тока, ток через устройства и проводники);
- сопротивление (сопротивление участков цепи, сопротивление электрических компонентов);
- мощность (активная, реактивная и полная мощность, потребляемая или вырабатываемая устройствами);
- частота (частота переменного тока в сети);
- емкость и индуктивность (характеристики конденсаторов и катушек);
- электрические параметры схем (импеданс, адмитанс, коэффициент мощности);
- электрические параметры сигналов (амплитуда, частота, фаза);
- изоляция (изоляционное сопротивление проводов и оборудования);

– электромагнитные поля (интенсивность и распределение магнитных и электрических полей);

Каждый параметр играет свою роль в обеспечении стабильности и безопасности электрических сетей, однако для полного контроля и анализа электрических систем часто требуется более комплексный подход. В таких случаях нужно использовать регистратор электрических параметров.

Регистратор электрических параметров (представлен на рисунке 1) – микропроцессорное устройство, предназначением которого, является измерение и архивирование данных электрической сети. Все значения, в процессе измерения параметров сети, не только отражаются на дисплее прибора, но и сохраняются на сменную карту памяти, что делает дальнейшую аналитическую работу с данными и значениями удобной и доступной [10].

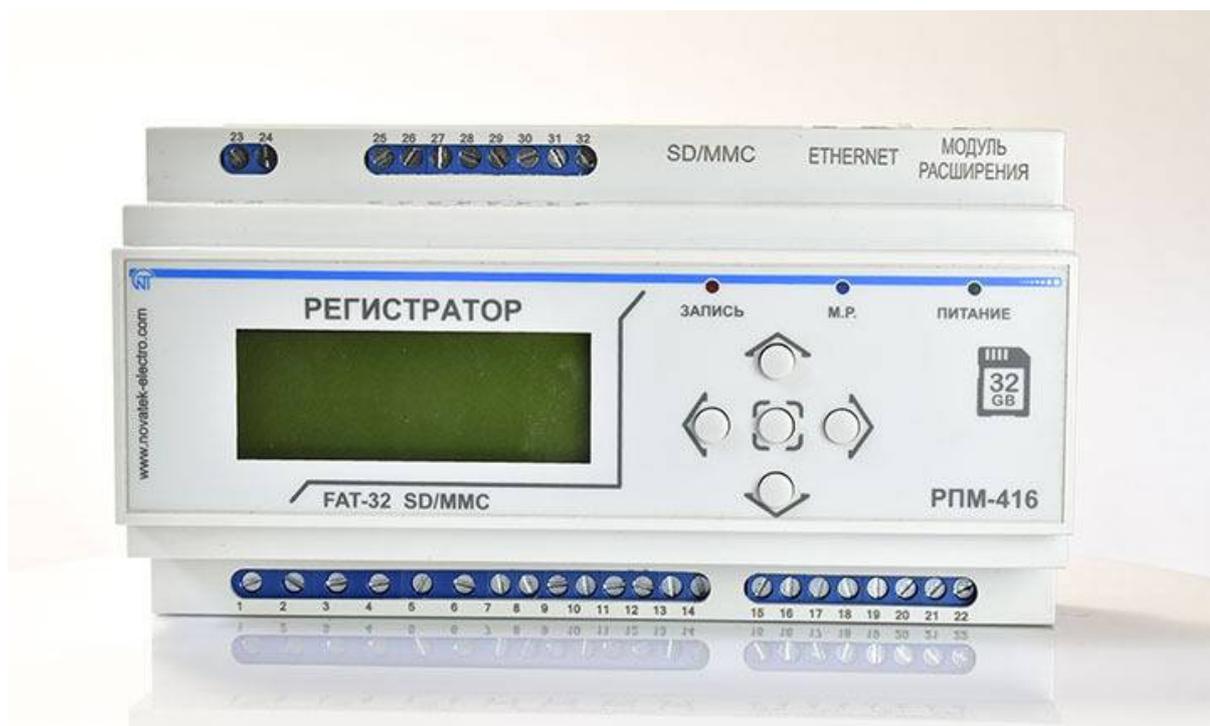


Рисунок 1 – Регистратор электрических параметров

Регистраторы электрических параметров могут быть использованы для мониторинга электрических сетей, анализа энергопотребления, выявления аномалий в работе оборудования и оптимизации производственных процессов. Благодаря им можно выявить потенциальные проблемы до их обострения, что помогает предотвратить аварии и снизить затраты на обслуживание.

Например, в реальной жизни возникают ситуации, когда в офисном центре или промышленном здании устанавливают освещение, и в определенное время оно начинает «мигать». Для понимания причины этого явления необходимо провести запись значений напряжения и тока, а затем проанализировать полученные данные. Этот процесс поможет выявить возможные проблемы в электрической сети, такие как перегрузки или падения напряжения, что может быть связано с нестабильной работой оборудования или неправильной настройкой системы освещения.

Или, представим ситуацию, когда в производственном предприятии регулярно возникают сбои в работе оборудования, приводящие к остановкам производства и финансовым потерям. Для выявления причины сбоев необходимо провести наблюдение за электрическими параметрами в момент сбоя, включая напряжение, токи и частоту. Анализ этих данных может помочь выявить нестабильности в электроснабжении, перегрузки или другие аномалии, которые могут быть причиной неисправностей в оборудовании. Такой подход позволяет предотвратить повторение сбоев и обеспечить более надежную работу производственного процесса.

Таким образом, использование регистраторов электрических параметров играет важную роль в обеспечении надежности, эффективности и безопасности электрических систем в различных областях, и в рамках выпускной квалификационной работы предполагается разработка подобного устройства.

1 Анализ рынка и актуальность разработки

Для понимания актуальности разработки регистратора электрических параметров рассмотрим существующие на рынке аналогичные устройства. Существует широкий спектр регистраторов, предназначенных для измерения и анализа электрических параметров, каждый из которых обладает своими особенностями и преимуществами.

1.1 KD7 – Электронный регистратор параметров

Электронный регистратор параметров KD7 (представленный на рисунке 2) представляет собой устройство, объединяющее функции регистратора и концентратора данных (datalogger). Он обладает возможностью текущей архивизации и визуализации данных на цветном сенсорном экране TouchScreen в различных форматах по выбору пользователя [22].



Рисунок 2 – Электронный регистратор параметров KD7

Регистратор KD7 позволяет работать с 12 аналоговыми входами и 20 параметрами по интерфейсу RS485. Он находит широкое применение в

различных отраслях промышленности, включая фармацевтику, пищевую промышленность и производство бумаги, для измерения, визуализации и контроля технических параметров процессов обработки.

Устройство KD7 может использоваться как автономное измерительное и записывающее устройство. Оно способно измерять изменения напряжения, тока, температуры, сопротивления и других параметров, а также преобразовывать их в сигналы. Информация может поступать для измерения через различные интерфейсы связи, такие как ETHERNET и RS-485.

KD7 выполняет широкий спектр функций, включая измерение, преобразование и визуализацию входных сигналов, архивизацию данных, сигнализирование и взаимодействие с оборудованием. Преобразованные данные измерений хранятся в оперативной памяти и на съемной флэш-карте.

Технические характеристики регистратора KD7 включают цветной сенсорный экран TFT размером 5,7 дюйма, сменную съемную оперативную флэш-память емкостью до 1 Гбайт (с возможностью расширения до 4 Гбайт), интерфейсы RS232, RS485 Modbus Master и Slave, USB 1.1 Device, а также различные входные и выходные каналы для измерений и управления. Устройство поддерживает различные форматы визуализации данных, включая графики, столбики, тренды и таблицы, а также обладает возможностью коммуникации через Ethernet, WWW-сервер, FTP-сервер и Modbus TCP/IP. Кроме того, KD7 обеспечивает архивизацию данных измерений через интерфейсы RS 485 Modbus или Ethernet и имеет возможность хранения данных в буферной памяти емкостью 8 Мбайт.

Стоимость такого регистратора составляет 352 700 рублей [9].

1.2 Регистратор параметров электрических сетей MI-1AC

Измеритель-регистратор параметров электрических сетей MI-1AC (рисунок 3) представляет собой устройство, предназначенное для измерения, регистрации и отображения параметров однофазной электрической сети

переменного тока. Среди измеряемых параметров: среднеквадратическое значение переменного напряжения и тока, активная, реактивная и полная мощности, активная и реактивная энергии в прямом и обратном направлении, коэффициент мощности и частота сети [4].



Рисунок 3 – Регистратор параметров электрических сетей MI-1AC

Основные погрешности измерений составляют: $\pm 0,2\%$ для напряжения и тока, $\pm 0,5\%$ для мощности и $\pm 1\%$ для коэффициента мощности. Устройство оснащено двухстрочным 16-символьным LCD или OLED дисплеем (в зависимости от модификации) и регистрирует данные на карту памяти MicroSD, а также позволяет экспортировать журналы на внешний USB-флеш-накопитель.

MI-1AC имеет интерфейс RS-485 с протоколом Modbus RTU, скорость RS-485 может быть выбрана программно с диапазоном от 1200 до 256000

бит/с. Питание устройства может осуществляться от переменного тока в диапазоне 85-264 В или от постоянного тока в диапазоне 10-30 В, в зависимости от модификации.

Устройство обладает гальванической изоляцией для измерительных входов и интерфейса RS-485 (2500 В) и защищено от пяти видов аварийных режимов. Рабочий температурный диапазон варьируется от -20 до +55 °С (с LCD дисплеем) и от -40 до +70 °С (с OLED дисплеем).

MI-1AC также предназначен для обнаружения, фиксации и индикации аварийных ситуаций, а также для передачи измеренных параметров по сети RS-485. Габариты устройства составляют 110x110x52 мм, и оно поставляется с гарантией на 18 месяцев. Стоимость варьируется от 11 652 рублей до 13 824 рублей, в зависимости от модификации.

1.3 Регистратор параметров электрических сетей MI-3AC

Измеритель-регистратор параметров электрических сетей MI-3AC (рисунок 4) также предназначен для измерения, регистрации и отображения параметров трехфазной электрической сети переменного тока. Среди измеряемых параметров аналогичны тем, которые присутствуют в MI-1AC: среднеквадратическое значение переменного напряжения и тока, активная, реактивная и полная мощности, активная и реактивная энергии в прямом и обратном направлении, коэффициент мощности и частота сети.

Погрешности измерений также сопоставимы: $\pm 0,2\%$ для напряжения и тока, $\pm 0,5\%$ для мощности и $\pm 1\%$ для коэффициента мощности, с $\pm 0,02$ Гц для частоты сети.

MI-3AC также оснащен двухстрочным 16-символьным LCD или OLED дисплеем (в зависимости от модификации) и регистрирует данные на карту памяти MicroSD, а также позволяет экспортировать журналы на внешний USB-флеш-накопитель.



Рисунок 4 – Регистратор параметров электрических сетей MI-3AC

Устройство имеет интерфейс RS-485 с протоколом Modbus RTU, скорость RS-485 выбирается программно с диапазоном от 1200 до 256000 бит/с. Питание устройства может осуществляться от переменного тока в диапазоне 85-264 В или от постоянного тока в диапазоне 10-30 В, в зависимости от модификации.

MI-3AC обладает гальванической изоляцией для измерительных входов и интерфейса RS-485 (2500 В) и защищено от пяти видов аварийных режимов. Рабочий температурный диапазон варьируется от -20 до +55 °С (с LCD дисплеем) и от -40 до +70 °С (с OLED дисплеем).

Устройство также предназначено для обнаружения, фиксации и индикации аварийных ситуаций, формирования сигналов управления дискретными (релейными) выходами и передачи измеренных параметров по сети RS-485. Габариты устройства составляют 110x110x52 мм, и оно

поставляется с гарантией на 18 месяцев. Стоимость варьируется от 14 616 рублей до 16 788 рублей, в зависимости от модификации.

1.4 Регистратор электрических параметров РПМ-416

Регистратор РПМ-416 от Новатек-Электро (рисунок 5) представляет собой микропроцессорное устройство, предназначенное для измерения, отображения и архивирования электрических параметров. Данные архивируются на сменную карту памяти (SD / MMC) и могут быть проанализированы при помощи программного обеспечения RPM-416 Data Analysis. Устройство обладает встроенными часами реального времени с питанием от литиевой батареи [11].

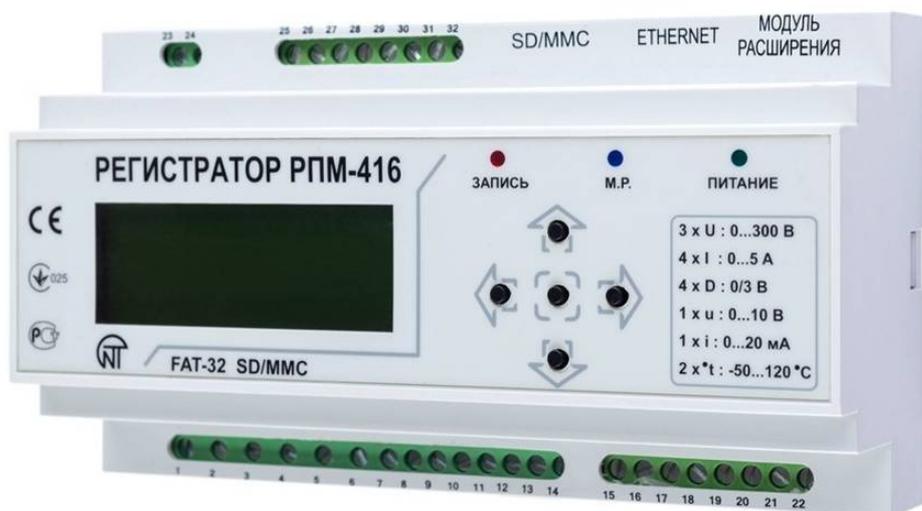


Рисунок 5 – Регистратор электрических параметров РПМ-416

Основные отличия РПМ-416 от предыдущих моделей заключаются в следующем:

- подключение к сети Ethernet по стандарту 10Base-T или 100Base-T;
- возможность подключения внешнего накопителя до 32 Гб;

- поддержка карт памяти с записью данных с частотой до 0,0001 секунды;
- наличие WEB-интерфейса.

Устройство также позволяет одновременно записывать данные на карту памяти и передавать их на ПК. Среди основных возможностей РПМ-416 выделяются многоканальность, универсальность подключения дополнительных модулей, гальваническая развязка входных сигналов, высокая надежность, удобство настройки и удаленный мониторинг и конфигурация через WEB-интерфейс. Стоимость составляет 55 470 рублей.

1.5 Анализатор качества электроэнергии Omix P1414-MA-3R

Omix P1414-MA-3R представляет собой анализатор качества электроэнергии, специально разработанный для измерения, индикации и регистрации электрических параметров трехфазной сети переменного тока (рисунок 6). Этот прибор обладает рядом характеристик и функций, которые делают его мощным инструментом для анализа электроэнергии [23].



Рисунок 6 – Анализатор качества электроэнергии Omix P1414-MA-3R

Одна из таких особенностей – возможность подключения трансформаторов тока и напряжения, что обеспечивает точные измерения. Его цветной графический индикатор делает визуализацию измеряемых параметров более удобной и наглядной.

Регистрация данных встроенной Flash-памятью объемом 1 МБ позволяет непрерывно записывать данные в течение двух лет для последующего анализа. Также имеется встроенный web-интерфейс, который обеспечивает удобную настройку и мониторинг устройства через любой веб-браузер.

Технические характеристики включают в себя диагональ экрана 140 мм и размеры корпуса 144x144x100 мм, что делает его идеальным для установки в щитовом исполнении. Регистратор поддерживает интерфейсы RS-485 (протокол MODBUS), RS-232 и Ethernet (протокол TCP/IP), обеспечивая гибкость в подключении.

Индикация всех основных параметров, включая токи, напряжения, коэффициент мощности, мощности по фазам и общие, частоту и спектр гармоник, позволяет оперативно отслеживать состояние электрической сети.

Таким образом, Omix P1414-MA-3R представляет собой мощный инструмент для анализа электроэнергии с широкими функциональными возможностями и удобным интерфейсом.

Стоимость составляет 126 250 рублей.

1.6 Сравнительная таблица регистраторов электрических параметров

Выполнив обзор и анализ регистраторов электрических параметров, составим таблицу, представляющую сравнение их основных характеристик и функций. В таблице 1 отражены особенности каждого регистратора, включая анализируемые параметры, интерфейсы связи, тип дисплея, поддерживаемые функции, габаритные размеры, вес и стоимость. Это сравнение поможет

определить подходящий регистратор в зависимости от требований и потребностей в конкретных задачах и условиях эксплуатации.

Таблица 1 – Сравнительная таблица регистраторов

Характеристики	KD7	MI-1AC	MI-3AC	РПМ-416	Omix P1414-MA-3R
Назначение	Анализ свойств трехфазной электрической сети	Однофазная электрическая сеть	Трехфазная электрическая сеть	Измерение, регистрация и отображение параметров	Анализ трехфазной сети
Измеряемые параметры	Параметры сети переменного тока	Напряжение, ток, мощность, энергия, частота, коэффициент мощности	Напряжение, ток, мощность, энергия, частота, коэффициент мощности	Значения электрических параметров	Измеряемые параметры
Дисплей	-	LCD / OLED	LCD / OLED	-	Цветной графический
Регистрация данных	Сменная карта памяти	MicroSD	MicroSD	Сменная карта памяти	Flash-память 1 МБ
Интерфейс связи	-	RS-485	RS-485	RS-232, RS-485, Ethernet	RS-485, RS-232, Ethernet
Потребляемая мощность	-	8,5 ВА (AC) / 1,5 Вт (DC)	8,5 ВА (AC) / 1,5 Вт (DC)	-	-
Габаритные размеры	-	110x110x52 мм	110x110x52 мм	-	144x144x100 мм
Температурный диапазон	-	-20...+55°C (с LCD), -40...+70°C (с OLED)	-20...+55°C (с LCD), -40...+70°C (с OLED)	-	-20...50°C
Наличие дискретных выходов	-	Нет / 3 релейных	Нет / 3 релейных	-	Нет
Гарантия	-	18 месяцев	18 месяцев	-	-
Цена	352 700 рублей	От 11 652 до 13 824 рублей	От 14 616 до 16 788 рублей	55 470 рублей	126 250 рублей

MI-1AC и MI-3AC имеют более базовый набор функций и характеристик по сравнению с другими регистраторами. Это включает

отсутствие некоторых дополнительных возможностей, таких как Ethernet-подключение, цветной графический дисплей или более широкий спектр анализируемых параметров. Кроме того, возможно, что производственные и материальные издержки для MI-1АС и MI-3АС также ниже, что отражается на их цене.

1.7 Актуальность разработки собственного регистратора

После того как были рассмотрены различные регистраторы параметров электрических сетей становится ясно, что каждое устройство имеет свои преимущества и ограничения. Однако, в некоторых случаях создание собственного регистратора может быть предпочтительным решением.

Во-первых, собственный регистратор может быть спроектирован с учетом конкретных потребностей и требований проекта, что обеспечивает более точное соответствие функционала устройства задачам, структуре сети и особенностям эксплуатации.

Во-вторых, разработка собственного регистратора позволяет обеспечить максимальную гибкость в настройке и интеграции с другими системами мониторинга и управления, что особенно важно в сложных технических средах.

Наконец, стоимость такого проекта может быть более конкурентоспособной в долгосрочной перспективе, поскольку позволяет избежать зависимости от сторонних поставщиков и их ценовой политики.

Таким образом, создание собственного регистратора параметров электрических сетей может представлять собой важный шаг в обеспечении эффективного контроля и управления электроэнергетическими системами, особенно в случаях, когда требуется высокая адаптивность, гибкость и экономическая эффективность.

Разрабатываемый регистратор предназначен для мониторинга электропотребления на уровне индивидуальных устройств или нагрузок.

Принцип его работы основан на измерении напряжения и тока, потребляемых подключенными устройствами, а также на анализе этих данных для вычисления мощности.

Вначале устройство подключается к источнику питания с помощью встроенной вилки, а затем нагрузка подключается к розетке на выходе регистратора. Регистратор включается в разрыв цепи и начинает измерять напряжение на нагрузке и потребляемый ток с помощью встроенных датчиков.

Измеренные значения напряжения и тока передаются в микроконтроллер, который анализирует их и вычисляет текущую мощность потребления. Эти данные отображаются на встроенном экране, позволяя оператору наблюдать за работой устройства в реальном времени.

Кроме того, устройство имеет возможность записи измеренных значений на SD карту, что позволяет сохранить данные для последующего анализа на компьютере. Это полезная функция для проведения более детального анализа электропотребления и оптимизации энергетических процессов.

Следовательно, разрабатываемый регистратор будет обеспечивать надежный и удобный способ отслеживания электропотребления, позволяя операторам эффективно контролировать и оптимизировать работу подключенных устройств.

2 Выбор комплектующих для измерителя-регистратора электрических параметров

Во втором разделе произведем анализ и выбор комплектующих для измерителя-регистратора. В первую очередь определимся с основой, на которой будут размещены все составляющие устройства. Достойным вариантом для этой цели оказалась панель ЛДСП размером 35 на 15 см. На ней можно прочно и надежно закрепить все комплектующие регистратора, а дальше соединить между собой.

На панели ЛДСП разместим две одиночные розетки открытой установки, представленные на рисунке 7.



Рисунок 7 – Одиночные розетки открытой установки

Первая розетка будет предназначена для подключения блока питания микроконтроллера регистратора, вторая для подключения измеряемой нагрузки.

Максимальная сила тока для такой розетки составляет 16А, это означает, что при напряжении в сети 220 В можно включить прибор мощностью не более 3520 Вт [13].

Согласно рисунку 8, для соединения силовой цепи разрабатываемого устройства будет достаточно медного провода с сечением 1,5 мм² [1].

Сечение токопроводящей жилы, мм	Медные жилы, проводов и кабелей			
	Напряжение, 220 В		Напряжение, 380 В	
	ток, А	мощность, кВт	ток, А	мощность, кВт
1,5	19	4,1	16	10,5
2,5	27	5,9	25	16,5
4	38	8,3	30	19,8
6	46	10,1	40	26,4
10	70	15,4	50	33,0
16	85	18,7	75	49,5
25	115	25,3	90	59,4
35	135	29,7	115	75,9
50	175	38,5	145	95,7
70	215	47,3	180	118,8
95	260	57,2	220	145,2
120	300	66,0	260	171,6

Рисунок 8 – Допустимая токовая нагрузка для медных проводов и кабелей

Однако предпочтительнее будет использовать провод сечением 2,5 мм² для обеспечения дополнительной надежности и устойчивости электрической системы. Такой выбор поможет избежать возможных проблем с перегревом проводов и обеспечит более стабильную работу устройства.

В качестве типа кабеля будет использоваться ПГВВП. ПГВВП – это тип кабеля, который применяется для прокладки внутри помещений. Обычно

он используется для прокладки электрических сетей на низкие напряжения, например, в бытовых, офисных и промышленных помещениях. ПГВВП состоит из медных жил, изолированных поливинилхлоридом (ПВХ), с общими экранами и оболочками. Этот кабель хорошо защищен от внешних воздействий и обладает высокой гибкостью, что делает его удобным в использовании при проведении различных электрических работ внутри зданий.

Поскольку данный провод многожильный, то на оголенные части провода будут установлены гильзы (рисунок 9).



Рисунок 9 –Гильзы для опрессовки проводов

Это будет сделано, потому что при использовании обычного метода крепления провода в зажимах электрических приборов возникает ряд негативных последствий. При зажиме проводов в зажимах они могут быть сильно сжаты и деформированы, что приводит к распушению и раздавливанию пучка проводов. Это может привести к повреждению проводов, что снижает их эффективность и надежность. Поврежденные

проводки, отделенные от основной группы, больше не могут быть использованы, что может вызвать нагрев и даже возгорание мест соединения [7].

Все дополнительные силовые соединения в проекте будут выполнены в распределительных коробках (рисунок 10).



Рисунок 10 – Распределительная коробка

Распределительная коробка – это устройство, предназначенное для организации и защиты электрических соединений и элементов в электрической системе. Она обеспечивает безопасное и надежное соединение проводов, предотвращает контакт между проводами и защищает их от внешних воздействий.

Распределительные коробки обеспечивают организацию и структурирование проводов, делая их легко доступными для обслуживания и ремонта. Они также способствуют безопасности, предотвращая короткое

замыкание и перегрузку электрической сети. Использование распределительных коробок позволяет эффективно управлять электрическими соединениями [16].

2.1 Выбор микроконтроллера

Для реализации регистратора рассмотрим несколько вариантов микроконтроллеров:

- а) Семейство плат с микроконтроллером Arduino. Эти микроконтроллеры имеют широкую поддержку и доступны в различных вариантах;
- б) Raspberry Pi. Это одноплатный компьютер, который может использоваться в качестве микроконтроллера для более сложных задач, так как он имеет более высокую производительность и больше возможностей для подключения различных устройств и интерфейсов;
- в) ESP32 или ESP8266: Эти микроконтроллеры имеют встроенный модуль Wi-Fi, что может быть полезно для удаленного мониторинга и управления устройством через Интернет;
- г) STM32. Это семейство микроконтроллеров от компании STMicroelectronics, которые обладают высокой производительностью и широким набором периферийных устройств, таких как ADC, UART, SPI и другие, что делает их подходящими для различных приложений в области измерения и управления электроэнергией.

Для регистратора электрических параметров будет использоваться Arduino Uno, представленная на рисунке 11. Причины следующие. Во-первых, Arduino Uno является достаточно доступным и широко распространенным микроконтроллером, что делает его легко доступным для приобретения и использования. Кроме того, для Arduino Uno существует большое количество библиотек и ресурсов, что упрощает разработку и программирование устройства.

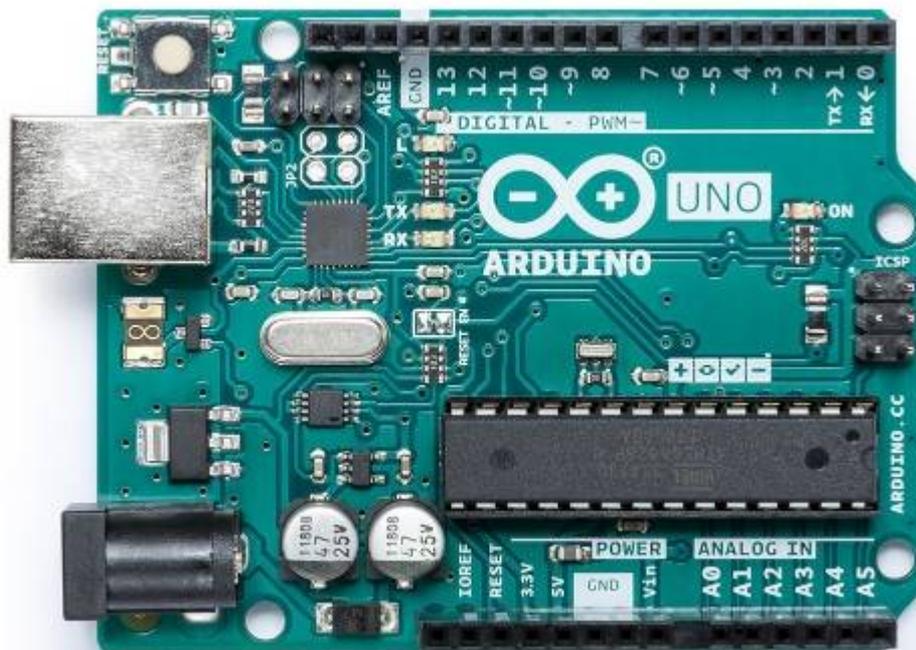


Рисунок 11 – Arduino Uno

У Arduino существует множество различных плат, но выбор был остановлен именно на Uno. Она проста и достаточно функциональна для реализации проекта. Например, Arduino Mega, хотя и обладает большим объемом памяти и большим количеством входов/выходов, но для текущей задачи такое количество излишне. Arduino Nano, хотя и компактна, но может быть ограничена по возможностям расширения, и не имеет защиты от коротких замыканий. Таким образом, Arduino Uno представляет собой оптимальный баланс доступности, производительности и функциональности.

2.2 Выбор и настройка датчика напряжения

Arduino сама по себе не может измерять переменное напряжение напрямую. Она работает с аналоговыми сигналами в диапазоне от 0 до 5 Вольт, называемыми аналоговыми входами. Однако, для измерения переменного напряжения с arduino можно использовать дополнительные

устройства, такие как датчики напряжения, делители напряжения или датчики тока, которые преобразуют переменное напряжение в соответствующий аналоговый сигнал, который затем может быть считан arduino.

Например, для измерения переменного напряжения можно использовать делитель напряжения с резисторами, чтобы уменьшить его до уровня, который можно безопасно подать на аналоговый вход arduino. Также можно применить оптопару или датчик напряжения, который преобразует переменное напряжение в переменное напряжение меньшей амплитуды, соответствующее диапазону входного напряжения arduino.

В разрабатываемом проекте будет использован представленный на рисунке 12 датчик напряжения переменного тока ZMPT101B [21]. Выбор обусловлен по следующим причинам:

- а) ZMPT101B легко подключить к Arduino благодаря его стандартному аналоговому интерфейсу. Нет необходимости в дополнительных компонентах для работы с ним;
- б) стоимость. Датчик ZMPT101B доступен по низкой цене, что делает его экономически выгодным решением для многих проектов;
- в) ZMPT101B способен измерять переменное напряжение в диапазоне от 0 до 250 В переменного тока, что покрывает большинство стандартных напряжений в электрических сетях;
- г) датчик обладает хорошей точностью измерения, что важно для получения достоверных данных;
- д) ZMPT101B известен своей надежностью и долговечностью, что делает его привлекательным выбором для длительного использования;
- е) доступность. Датчик широко доступен на рынке и может быть легко приобретен в магазинах электроники или онлайн.

Основным компонентом модуля является трансформатор, произведенный компанией Qingxian Zeming Langxi Electronic. Фактически, для его настройки нужно только изменить токоограничивающий резистор на

первичной цепи и резистор на вторичной цепи. Все остальные компоненты схемы работают на сдвиг измеряемого напряжения в положительную сторону, чтобы избежать отрицательного напряжения, и его усиления. Кроме того, данная схема основана на использовании микросхемы LM385 [3].

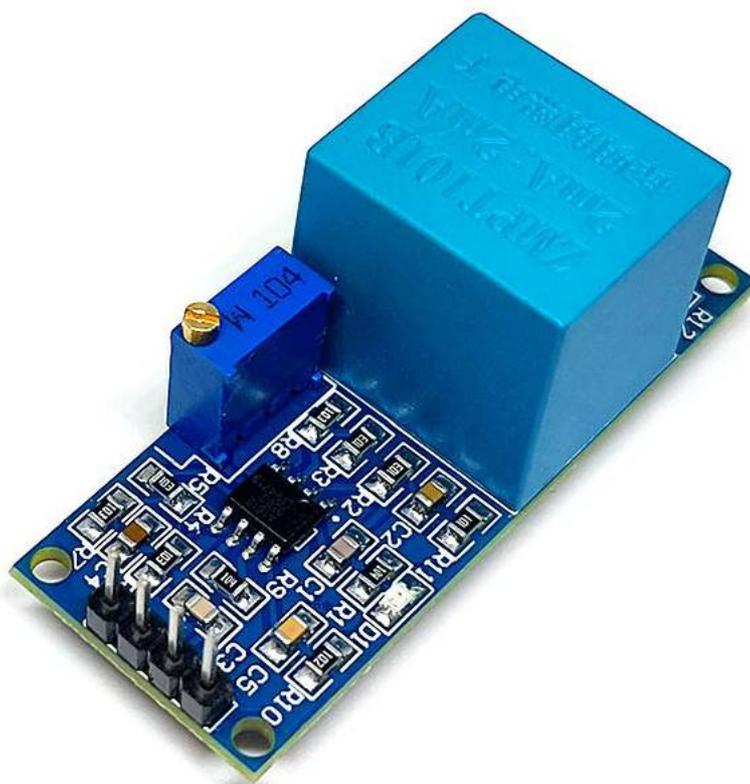


Рисунок 12 – Датчик ZMPT101B

Подключается датчик следующим образом. Прежде всего, начнем с подключения аналогового выхода OUT с датчика ZMPT101B к плате Arduino UNO через вывод A0. После этого соединяем питание датчика, подключив выводы GND и VCC к соответствующим выводам GND и +5V на Arduino. Теперь переходим к подключению к силовой части: выводы L и N датчика подключаем к сети 220В (рисунок 13).

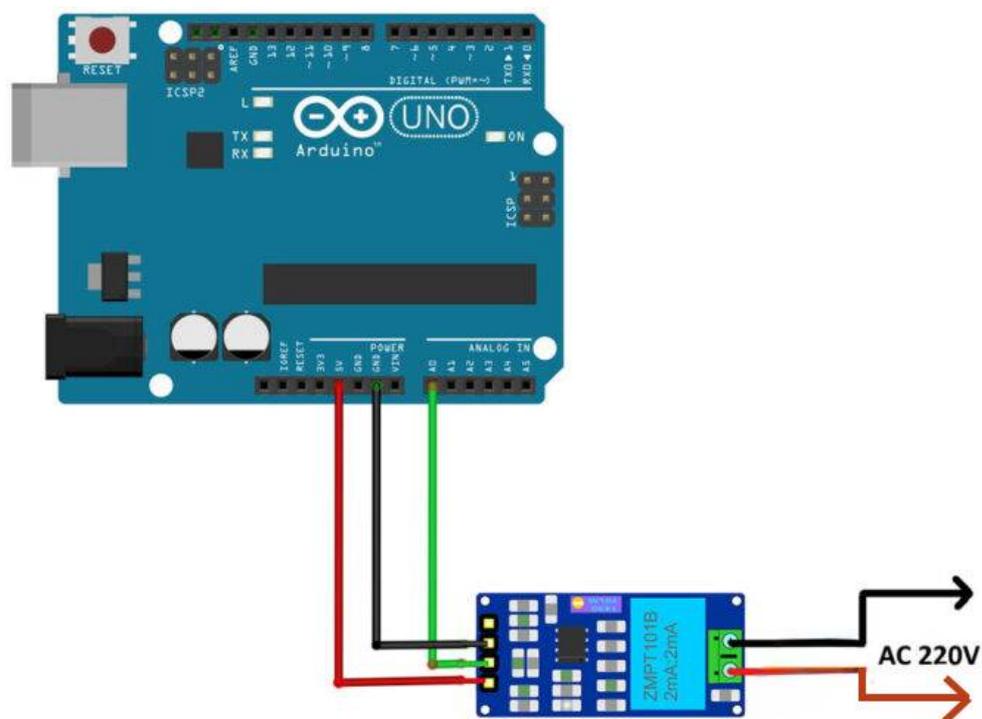


Рисунок 13 – Подключение датчика ZMPT101B

После подключения нужно откалибровать модуль. Для этого загружаем в него скетч калибровки, представленный на рисунке 14.

```

1 void setup() {
2   Serial.begin(9600);
3 }
4
5 void loop()
6 {
7   Serial.println(analogRead(A0));
8
9   delay(100);
10 }

```

Рисунок 14 – Скетч калибровки датчика ZMPT101B

Загрузив данный скетч, переходим в режим плоттера последовательного порта. Неоткалиброванные показания датчика представлены на рисунке 15.

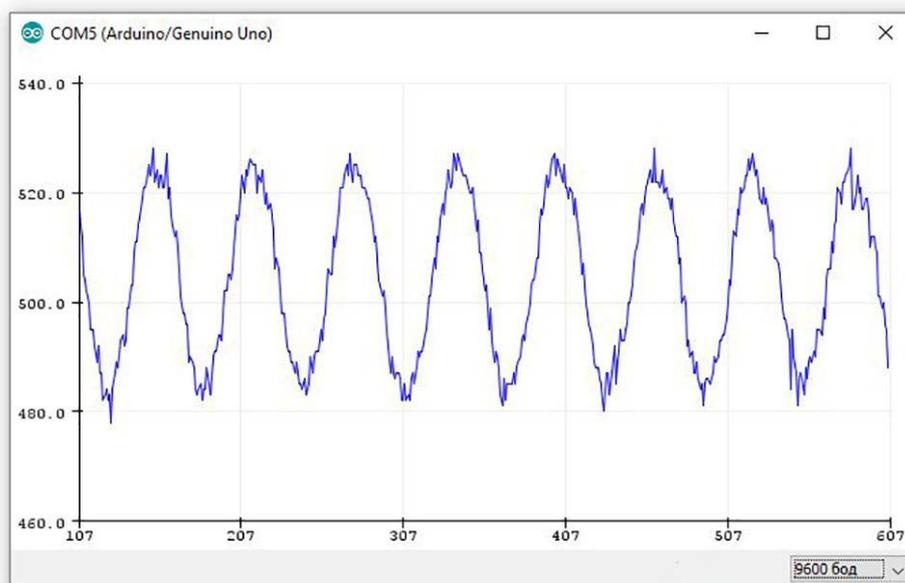


Рисунок 15 – Неоткалиброванные показания датчика ZMPT101B

Затем регулируем потенциометр, стремясь к достижению оптимальной формы сигнала, наиболее близкой к идеальной синусоиде. В эксперименте удалось добиться качественного результата представленному на рисунке 16.

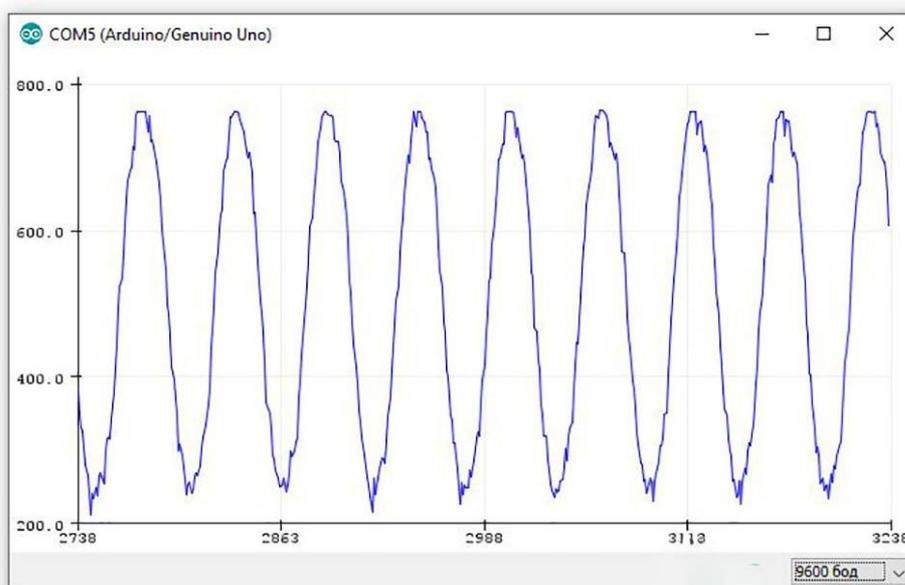


Рисунок 16 – Откалиброванные показания датчика ZMPT101B

Однако при проведении измерений возникали временные флуктуации или «шумы», которые влияли на точность данных. Показания датчика с «шумами» представлены на рисунке 17.

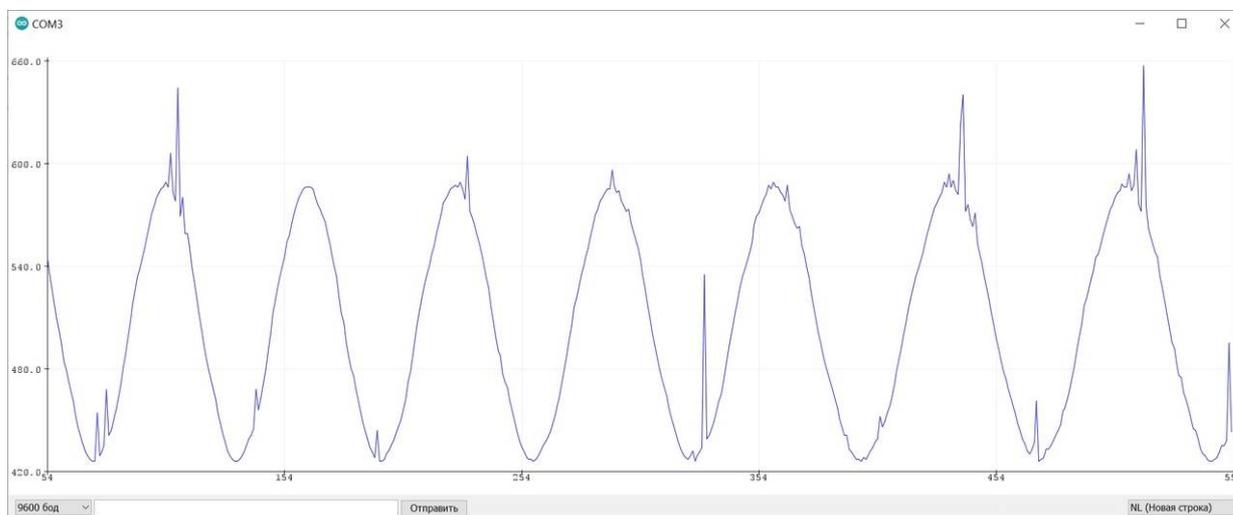


Рисунок 17 – Показания датчика ZMPT101В с «шумами»

Миниатюрные колебания, или «шумы», возникают при использовании любого аналогового датчика, который подвергается анализу через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в плате Arduino. Важно отметить, что сам АЦП почти не создает шума, при условии стабильного электропитания платы и отсутствия магнитных помех. Например, сигнал с одного и того же потенциометра может быть идеально гладким. Однако, если питание нестабильно, например, из-за дешевого источника питания, ситуация меняется. Даже когда источник питания обеспечивает хорошее напряжение без нагрузки, появление нагрузки может привести к появлению шумов, связанных с характеристиками источника питания и отсутствием адекватных выходных фильтров. Еще одним фактором является электромагнитное излучение, например, от провода с высоким переменным током, которое может индуцировать дополнительную ЭДС в аналоговых проводах и вызывать шумы. Хотя эти проблемы можно решить аппаратными методами,

такими как фильтрация питания и экранирование аналоговых проводов. Но, к сожалению, это не всегда предоставляется возможным [15].

Поэтому в данной работе для минимизации влияния шумов будут применяться программные методы фильтрации сигнала, а именно бегущее среднее (Running Average) [24]. Это простой и эффективный фильтр значений. Он существенно улучшает качество сигнала, при этом обладая более оптимальной структурой реализации.

Характеристики использования фильтра бегущее среднее:

- алгоритм, лёгкий в вычислениях, обладает высокой скоростью и простотой;
- эффективность фильтрации зависит от коэффициента настройки (от 0.0 до 1.0). Меньшие значения обеспечивают более плавное сглаживание;
- одновременно производится лишь одно измерение, не останавливая микроконтроллер на длительный период;
- более частые измерения способствуют повышению эффективности работы фильтра.

2.3 Выбор и настройка датчика тока

Для измерения силы тока с помощью Arduino можно использовать аналоговые датчики тока или токовые трансформаторы. В случае использования аналоговых датчиков тока, они подключаются к плате Arduino, а затем с помощью встроенного в Arduino аналого-цифрового преобразователя (АЦП) считывается аналоговый сигнал с датчика. Токовые трансформаторы используются для преобразования высокого тока в меньший, который затем можно измерить с помощью Arduino.

Кроме того, можно использовать специализированные модули измерения тока, которые имеют встроенные датчики и цифровой интерфейс,

такой как модуль ACS712. Этот модуль обеспечивает удобный способ измерения тока и подходит для множества проектов с Arduino [6].

Модуль ACS712 представляет собой интегрированную схему, предназначенную для измерения переменного и постоянного тока. Он основан на технологии Холла [18]. Рассмотрим подробнее его характеристики:

- модуль ACS712 предназначен для измерения тока на уровне до 30 Ампер. Доступны различные версии этого модуля с разными номинальными токами для различных приложений;
- модуль ACS712 выдает аналоговый сигнал, пропорциональный измеряемому току. Этот сигнал можно считывать с помощью аналогового входа Arduino;
- принцип работы модуля ACS712 основан на эффекте Холла. Это позволяет ему точно измерять ток и обеспечивает гальваническую изоляцию между схемой управления и измеряемым током;
- модуль ACS712 имеет небольшой размер и прост в подключении. Он поставляется в виде готового модуля с предустановленными выводами для подключения к Arduino или другим микроконтроллерам;
- некоторые версии модуля ACS712 обладают защитой от перегрузок и имеют встроенные средства защиты от короткого замыкания.

Изучив предложения о продаже данного датчика на рынке электроники, был найден такой датчик от отечественного производителя iarduino [2]. Преимуществом покупки данного датчика в этом магазине была русскоязычная поддержка и доступная подробная документация по работе с этим датчиком. В продаже было представлено три модификации для этого датчика. Различаются они по максимальной силе тока, доступной для измерения: 5А, 20А и 30А. Первый вариант датчика, на 5 Ампер позволил бы подключить к измерителю-регистратору устройства по мощности не более 1100 Вт, что является довольно низким показателем, и сильно бы снизило возможности регистратора. Следующий вариант для датчика 20А оказался

подходящим вариантом, поскольку на регистраторе установлена розетка, выдерживающая ток не более 16 Ампер.

Подключается датчик тока аналогично датчику напряжения. У него три контакта, +5V, GND и сигнальный выход, которые подключаются соответственно к контактам питания arduino и к его аналоговому входу. Силовые контакты датчика подключаются последовательно к нагрузке.

Однако, после подключения датчика к нагрузке, и загрузки прошивки в arduino измеренные датчиком показания оказались далеки от реальных. При использовании стандартной библиотеки и подключении нагрузки 100 Вт, датчик показывал, что нагрузка равна 58 Вт. В рамках эксперимента, в программе было прописано, что установлен датчик 5А, что конечно отобразилось на показаниях, они стали 32 Вт. После этого в программе прописали, что установлен датчик на 30А, показания стали 89 Вт, что конечно ближе к реальной нагрузке, но все равно не считается корректным измерением. Изучив программный код внутри библиотеки датчика, были обнаружены строки кода, представленные на рисунке 18, которые настраивают чувствительность датчика.

```
1  #include "ACS712.h"
2
3  ACS712::ACS712(ACS712_type type, uint8_t _pin) {
4      pin = _pin;
5
6      // Different models of the sensor have their sensitivity:
7      switch (type) {
8          case ACS712_05B:
9              sensitivity = 0.185;
10             break;
11          case ACS712_20A:
12              sensitivity = 0.100;
13             break;
14          case ACS712_30A:
15              sensitivity = 0.066;
16             break;
17         }
18     }
19 }
```

Рисунок 18 – Программный код библиотеки ACS712.h. Строки кода с указанием чувствительности датчика тока

Редактируя в библиотеке чувствительность датчика, экспериментальным путем показания датчика тока стали соответствовать реальной нагрузке (100 Вт). Однако, после смены мощности нагрузки на 1500 Вт, датчик показал, что нагрузка равна 1322 Вт, что, к сожалению, опять указывало на некорректную работу датчика тока.

Было принято решение – написать вопрос производителю датчика. Был дан ответ, что действительно, что представленная библиотека на сайте для датчика 20А некорректно рассчитывает именно переменный ток. Так же производитель указал, на то, что сайте представлена альтернативная библиотека, которая подходит только для датчика 5А, но можно ее самостоятельно подкорректировать под датчик 20А. Для этого, нужно экспериментальным путем редактировать участок кода этой библиотеки, представленный на рисунке 19.

```
iarduino_ACS712 / src / iarduino_ACS712.h
Code Blame 50 lines (45 loc) · 6.29 KB
--
11 #ifndef iarduino_ACS712_h
12 #define iarduino_ACS712_h
13
14 #if defined(ARDUINO) && (ARDUINO >= 100)
15 #include <Arduino.h>
16 #else
17 #include <iProgram.h>
18 #endif
19
20 #define ADC_SCALE 1024.0f // Диапазон измерений АЦП Arduino
21 #define VREF 5.0f // опорное напряжение АЦП Arduino
22
23 class iarduino_ACS712{
24 public: iarduino_ACS712 (uint8_t); // Объявление экземпляра класса
25 /** пользовательские функции **/
26 float readDC (uint8_t=0); // Чтение постоянного тока
27 float readAC (uint8_t=0); // Чтение переменного тока
28 float getZeroVDC (void); // Чтение постоянного напряжения на выходе модуля
29 float getZeroVAC (void); // Чтение переменного напряжения на выходе модуля
30 void setZeroVDC (float); // Установка коррекции смещения нуля для постоянного
31 void setZeroVAC (float); // Установка коррекции смещения нуля для переменного
32 void calibrationDC (uint16_t); // Калибровка показаний модуля для постоянного тока
33 void calibrationAC (uint16_t); // Калибровка показаний модуля для переменного тока
34
35 private:
36 /** внутренние переменные **/
37 uint8_t pinSensor;
38 uint32_t timeDC = 0; // Время последнего чтения показаний по DC
39 uint32_t timeAC = 0; // Время последнего чтения показаний по AC
40 float sensDC = 0.1307f; // Чувствительность датчика к постоянному току:
41 float sensAC = 0.1307f * 0.5665f; // Чувствительность датчика к переменному току: IA = 138
42 float voltageCDC = ADC_SCALE; // Напряжение на выходе модуля при отсутствии постоянного
43 float voltageCAC = 0; // Напряжение на выходе модуля при отсутствии переменного
44 float voltageDC = 0; // Напряжение на выходе модуля при изменении постоянного
45 float voltageAC = 0; // Напряжение на выходе модуля при изменении переменного
46 /** внутренние функции **/
47 void readVDC (uint8_t,uint8_t=10); // Чтение постоянного напряжения
48 void readVAC (uint8_t,uint8_t=3); // Чтение переменного напряжения
49
50 };
51 #endif
```

Рисунок 19 – Участок кода библиотеки iarduino_ACS712.h для редактирования

Меняя нагрузку, и редактируя указанную часть кода, методом перебора и экспериментов были достигнуты следующие результаты, представленные на рисунке 20 (нечетный столбец показаний – измеренная сила тока, четный – рассчитанная мощность нагрузки). На рисунке видно, что показания датчика тока стали соответствовать реальной нагрузке.

COM3	COM3	COM3
0.44 99.82	3.50 794.25	6.75 1533.23
0.44 99.81	3.50 794.04	6.76 1533.44
0.44 99.81	3.50 793.94	6.76 1533.54
0.44 99.81	3.50 793.89	6.76 1533.59
0.44 99.81	3.50 793.86	6.76 1533.61
0.44 99.81	3.50 793.85	6.76 1533.62
0.44 99.81	3.50 793.85	6.76 1533.63
0.44 99.81	3.50 793.84	6.76 1533.63
0.44 99.81	3.50 793.84	6.76 1533.64
0.44 99.81	3.50 793.84	6.76 1533.64
0.44 99.81	3.50 793.84	6.76 1533.64
0.44 99.88	3.50 793.84	6.76 1533.64
0.44 99.84	3.50 793.77	6.76 1533.64
0.44 99.83	3.50 793.80	6.76 1533.64
0.44 99.82	3.50 793.82	6.76 1533.64
0.44 99.81	3.50 793.83	6.76 1533.64
0.44 99.81	3.50 793.84	6.76 1533.64
0.44 99.88	3.50 793.84	6.76 1533.64
0.44 99.85	3.50 793.84	6.76 1533.64
0.44 99.83	3.50 793.84	6.74 1529.82
0.46 103.55	3.50 793.84	6.73 1527.95

Рисунок 20 – Показания откалиброванного датчика тока

Итоговый код библиотеки `iarduino_ACS712.h` представлен на рисунке 21. Таким образом, в результате работы данная библиотека была адаптирована для работы с датчиком 20 Ампер. В свою очередь, производитель датчиком обещал в ближайшее время так же представить на сайте свою версию подобной библиотеки.

```

11 #ifndef iarduino_ACS712_h
12 #define iarduino_ACS712_h
13
14 #if defined(ARDUINO) && (ARDUINO >= 100)
15 #include <Arduino.h>
16 #else
17 #include <WProgram.h>
18 #endif
19
20 #define ADC_SCALE 1024.0f // Диапазон измерений АЦП Arduino
21 #define VREF 5.0f // опорное напряжение АЦП Arduino
22
23 class iarduino_ACS712{
24 public: iarduino_ACS712 (uint8_t); // Объявление экземпляра класса
25 /** пользовательские функции */
26 float readDC (uint8_t=0); // Чтение постоянного тока
27 float readAC (uint8_t=0); // Чтение переменного тока
28 float getZeroVDC (void); // Чтение постоянного напряжения на выходе
29 float getZeroVAC (void); // Чтение переменного напряжения на выходе
30 void setZeroVDC (float); // Установка коррекции смещения нуля для постоянного
31 void setZeroVAC (float); // Установка коррекции смещения нуля для переменного
32 void calibrationDC (uint16_t); // Калибровка показаний модуля для постоянного
33 void calibrationAC (uint16_t); // Калибровка показаний модуля для переменного
34 private:
35 /** внутренние переменные */
36 uint8_t pinSensor;
37 uint32_t timeDC = 0; // Время последнего чтения показаний постоянного
38 uint32_t timeAC = 0; // Время последнего чтения показаний переменного
39 float sensDC = 0.1307f; // Чувствительность датчика к постоянному
40 float sensAC = 0.0947f * 0.5665f; // Чувствительность датчика к переменному
41 float voltageCDC = ADC_SCALE/2; // Напряжение на выходе модуля при отсчете
42 float voltageCAC = 0; // Напряжение на выходе модуля при отсчете
43 float voltageDC = 0; // Напряжение на выходе модуля при измерении
44 float voltageAC = 0; // Напряжение на выходе модуля при измерении
45 /** внутренние функции */
46 void readVDC (uint8_t,uint8_t=10); // Чтение постоянного напряжения
47 void readVAC (uint8_t,uint8_t=3); // Чтение переменного напряжения
48 };
49
50 #endif

```

Рисунок 21 – Итоговый код библиотеки iarduino_ACS712.h, адаптированный под датчик 20 Ампер

2.4 Выбор LCD дисплея

Для работы с Arduino доступно несколько типов LCD дисплеев. Рассмотрим каждый из них подробнее:

- жидкокристаллические дисплеи (LCD). Наиболее распространенный тип дисплеев. Они могут быть однострочными или многострочными и как правило имеют символьную матрицу для отображения текста и небольшого количества графики. Их удобно использовать для вывода текста и простых символов;
- графические LCD дисплеи. Эти дисплеи обеспечивают возможность вывода более сложной графики и изображений. Они имеют большую

разрешающую способность и могут отображать более сложные объекты, такие как графики и диаграммы. Графические LCD дисплеи бывают как монохромные, так и цветные;

– LED матричные дисплеи. Эти дисплеи состоят из массива светодиодов (LED), организованных в виде матрицы. Они обычно используются для отображения текста и простой графики с высокой яркостью и контрастностью. LED матричные дисплеи могут быть одноцветными или RGB светодиодами, что позволяет отображать цветную информацию;

– OLED дисплеи. Органические светодиодные дисплеи (OLED) предоставляют высококачественное изображение с высоким контрастом и яркостью. Они обеспечивают широкий угол обзора и могут быть очень тонкими и легкими. OLED дисплеи могут быть как монохромными, так и цветными.

Для реализации текущего проекта был выбран LCD дисплей 1602, представленный на рисунке 22, так как его характеристики и возможности позволяют отобразить нужную информацию.

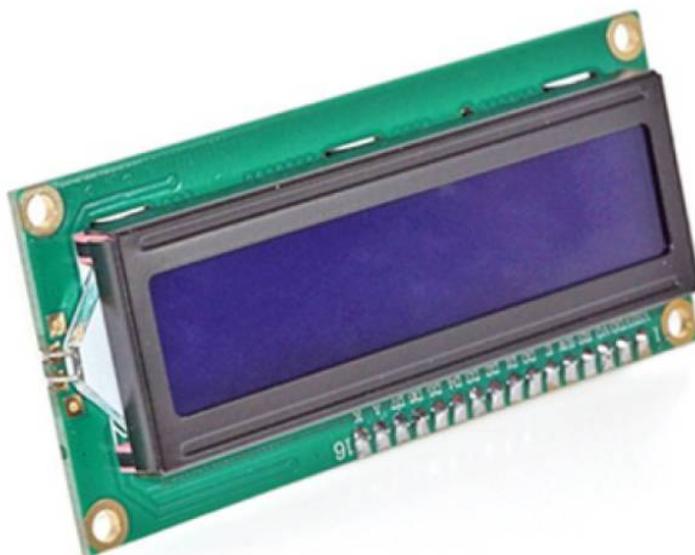


Рисунок 22 – LCD дисплей 1602

Данный дисплей имеет возможность вывода 16 символов на две строки и обеспечивает простой и понятный способ отображения информации. Его можно подключить к Arduino двумя способами. Напрямую, или через интерфейс I2C [12]. Так как подключение через интерфейс I2C предоставляет ряд преимуществ, такие как экономия контактов микроконтроллера, удобство подключения, повышенная совместимость и улучшенное качество передачи сигнала, было принято решение воспользоваться этим интерфейсом [19]. Схема подключения представлена на рисунке 23.

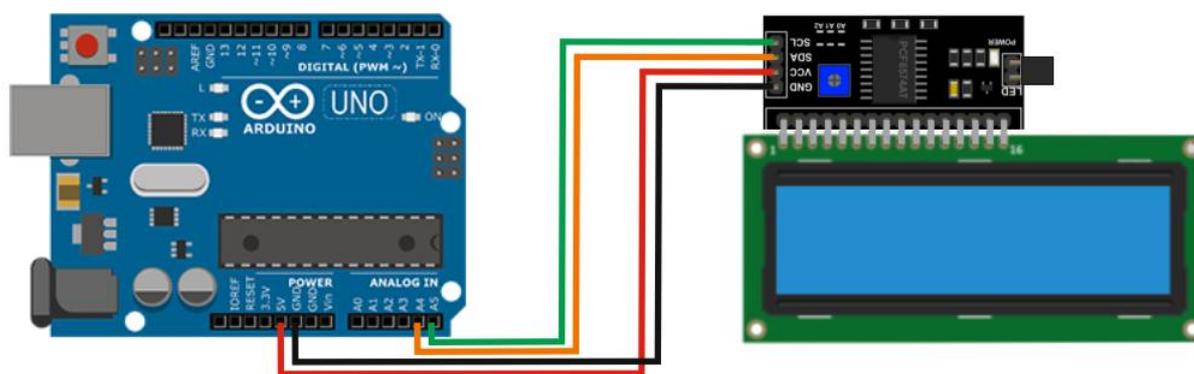


Рисунок 23 – Подключение LCD 1602 через интерфейс I2C

2.5 Выбор способа ввода информации

Существует множество способов, с помощью которых пользователь может передать в микроконтроллер какую-либо информацию. Это можно сделать с помощью клавиатуры, кнопок, потенциометров, датчиков касаний, инфракрасного пульта и т. д. Но в рамках реализации текущего проекта будет достаточно обычной тактовой кнопки. В процессе сборки схемы электрических соединений возьмем двух контактный модуль кнопки, и настроим контакт подключения в микроконтроллере в режим входа с подтягивающим резистором [5].

2.6 Выбор модуля SD карты

Для того, что бы Arduino UNO смогла взаимодействовать с SD-картой, существуют специальные модули, один из которых представлен на рисунке 24. Использование SD и microSD карт может значительно увеличить функциональность проектов Arduino [8].

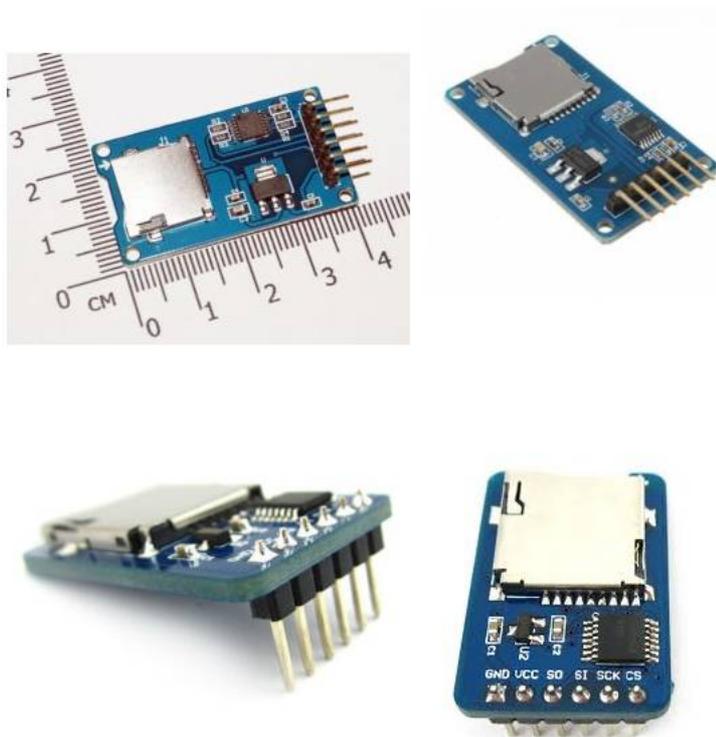


Рисунок 24 – Модуль для SD карты памяти

Модуль, показанный выше, подошел бы для разрабатываемого проекта. Однако, в процессе анализа доступных вариантов, был найден специальный shield с sd картой для Arduino UNO, представленный на рисунке 25 [25]. Его использование оказалось более предпочтительным, так как он подключается непосредственно к плате Arduino без необходимости использования дополнительных проводов или разъемов. Это упрощает сборку устройства, и делает его более компактным [20].



Рисунок 25 – Shield sd card

2.7 Выбор блока питания

В процессе выбора блока питания для разрабатываемого устройства необходимо учитывать несколько важных параметров. Необходимо определить общее энергопотребление устройства, включая все его компоненты и периферийные устройства. Затем следует выбрать блок питания с напряжением, подходящим для работы всех компонентов устройства. Важно также учитывать суммарный ток потребления всех устройств и выбрать блок питания с достаточной номинальной мощностью для обеспечения стабильного электропитания.

Для стабильности работы устройства, был выбран блок питания feron 1b005-30w. Выходное напряжение составляет 12 Вольт, максимальная сила тока 2,5 А [14]. Подключается он напрямую в соответствующий разъем питания на плате Arduino UNO.

3 Разработка структурной схемы устройства

Перед началом разработки схемотехнической части электронного устройства важно сначала создать структурную схему и определить его основные компоненты и связи между ними. Из выбранных ранее комплектующих во втором разделе работы составим структурную схему, представленную на рисунке 26. Конечно, поскольку используется плата расширения под карту памяти, физически она подключена к Arduino, и уже остальные компоненты подключаются к ней через одноименные контакты. Однако, так как данная плата выполняет только роль транзитного соединения, поэтому в будущих схемах будем считать что все компоненты подключены к плате Arduino напрямую.



Рисунок 26 – Структурная схема измерителя-регистратора электрических параметров

Рассмотрим компоненты на структурной схеме:

- микроконтроллер Arduino UNO, основной узел в схеме, программно обрабатывает входные сигналы от датчиков и осуществляет запись и вывод результатов измерений;
- LCD дисплей, отображает напряжение, силу тока и мощность нагрузки;
- модуль кнопки №1, вызывает перекалибровку датчика тока;
- модуль кнопки №2, включает и выключает запись измерений на карту памяти;
- блок питания, подает электричество для работы устройства;
- кардридер, с картой памяти, служит для записи измеренных показаний для дальнейшего анализа;
- датчик тока, с помощью клемм измеряет потребляемый ток нагрузкой;
- датчик напряжения, с помощью клемм измеряет напряжение на нагрузке.

Таким образом, в данном разделе была разработана структурная схема для измерителя-регистратора электрических параметров.

4 Разработка электрической схемы соединений

Разработанная схема электрическая соединений представлена на рисунке 27.

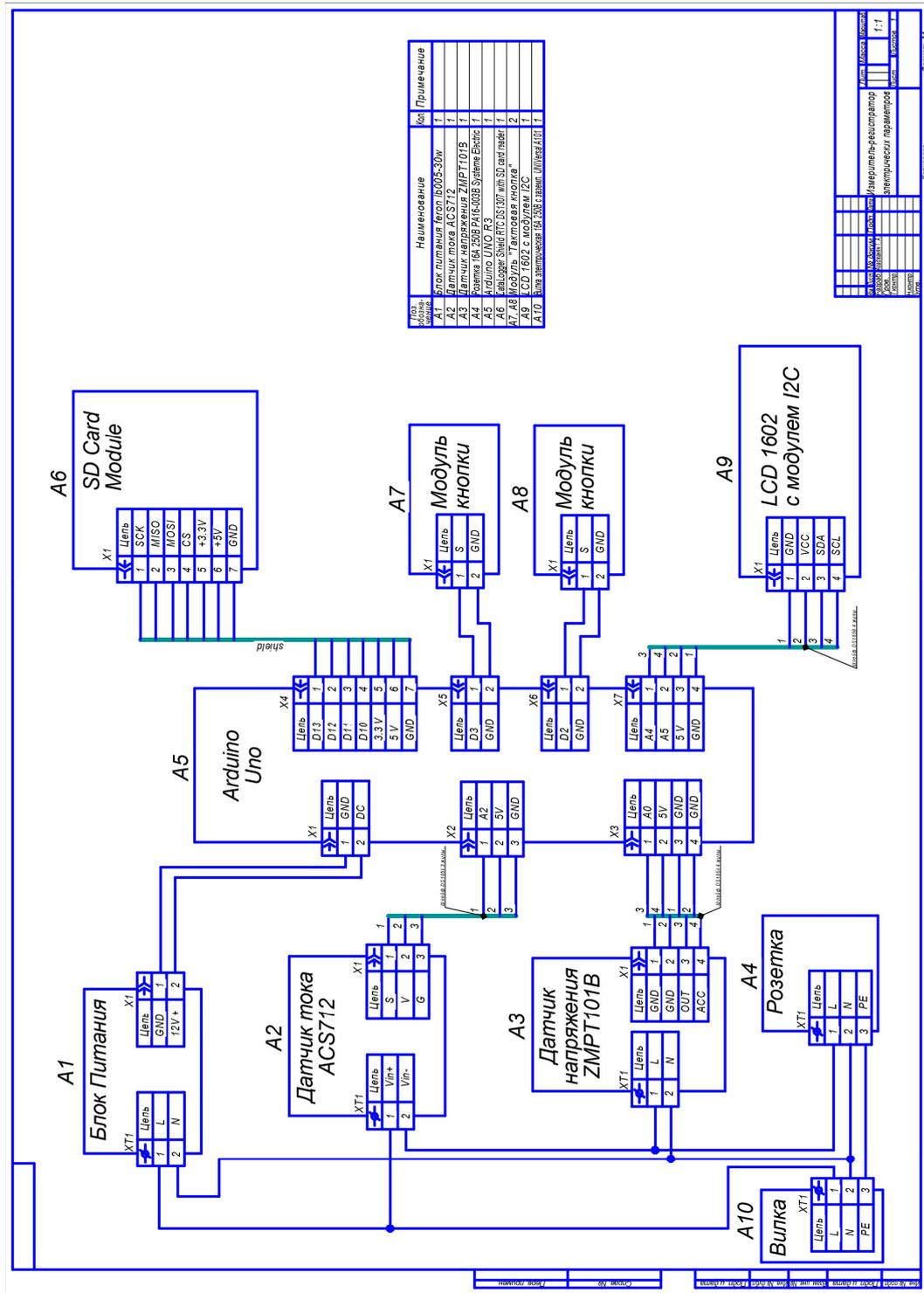


Рисунок 27 – Схема электрическая соединений

Схема спроектирована в системе КОМПАС-3D. Она включает в себя следующие выбранные во втором разделе элементы:

- блок питания feron lb005-30w;
- датчик тока ACS712;
- датчик напряжения ZMPT101B;
- arduino UNO R3;
- dataLogger Shield RTC DS1307 with SD card reader;
- два модуля «тактовая кнопка»;
- LCD 1602 с модулем I2C;
- вилка электрическая 16А 250В с заземл. бел. UNIVersal A101;
- розетка 16А 250В PA16-003B Systeme Electric.

5 Разработка программного алгоритма работы измерителя-регистратора электрических параметров

В данном разделе сформулируем логику работы программы для измерителя-регистратора, а так же построим блок схемы алгоритмов работы программы для микроконтроллера.

В самом начале программы подключаются необходимые дополнительные библиотеки для работы программы. Библиотека – это собрание программных модулей или функций, предназначенных для выполнения определенных задач или обеспечения функциональности в программировании. Она содержит предварительно написанный код, который программист может использовать в проектах, чтобы избежать необходимости самостоятельно разрабатывать этот код. В разрабатываемом проекте будут использованы следующие библиотеки:

- `arduino_ACS712.h`, для датчика тока;
- `GyverFilters.h`, библиотека с фильтрами показаний АЦП;
- `SPI.h` и `SD.h`, библиотеки для модуля SD карты;
- `Wire.h` и `LiquidCrystal_I2C.h`, библиотеки для LCD экрана на шине I2C.

Затем создаются объекты:

- `analog0`, фильтр класса `GFilterRA`;
- `lcd`, ЖК экран класса `LiquidCrystal_I2C`;
- `sensor`, датчик тока класса `arduino_ACS712`.

После объектов создадим переменные:

- `but_reset`, обозначает контакт, в который подключена кнопка сброса;
- `but_write`, обозначает контакт, в который подключена кнопка включения и выключения записи информации на карту памяти;
- `wr`, в данной переменной сохраняется состояние записи на карту памяти. Если переменная равна нулю, значит запись выключена, если равна одному, значит запись не смогла включиться, произошла ошибка,

а если двум, значит запись успешно осуществляется в настоящий момент времени;

– n, счетчик записей на карте памяти в текущем сеансе работы;

– chipSelect, обозначает контакт на модуле SD для подключения карты памяти;

– V_t, массив, представляющий собой внешний вид русской буквы «т», для ее печати на ЖК экране.

Далее, создаются функции программы. Первая функция readV считывает и возвращает напряжение с датчика. Сначала алгоритм считывает и фильтрует от шумов показания датчика, затем находит максимальное измеренное значение и преобразует его в среднеквадратичное значение. Блок схемы этой функции представлены на рисунках 28 и 29.

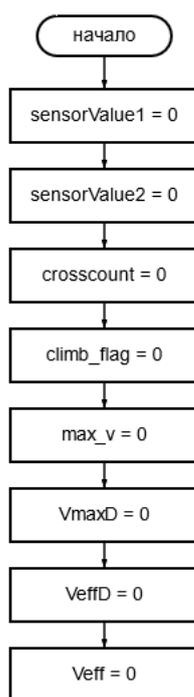


Рисунок 28 – Блок схема алгоритма начала функции readV

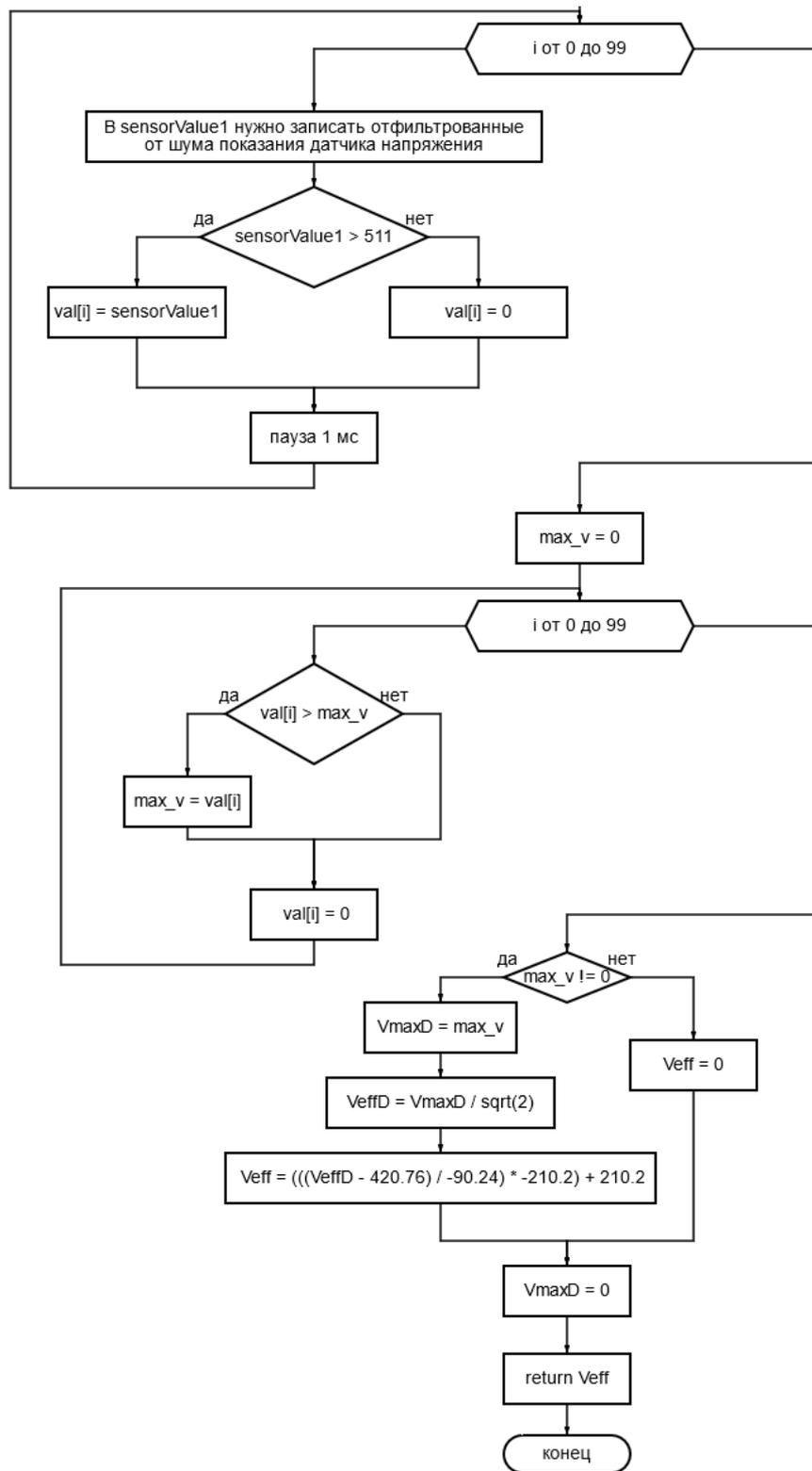


Рисунок 29 – Блок схема основной части функции readV

Следующим этапом создаем обязательную для Arduino функцию setup. Данная функция выполняется один раз при запуске микроконтроллера. В

этой функции сначала устанавливается коэффициент фильтрации от шумов и шаг фильтрации, после этого контакты с кнопками настраиваются на режим INPUT_PULLUP. Затем происходит инициализация ЖК экрана, и запись в его память русской буквы «т». Далее ожидаем с помощью цикла когда на силовую цепь устройства поступит питание, и калибруем датчик тока. Блок схема алгоритма функции setup представлена на рисунке 30.

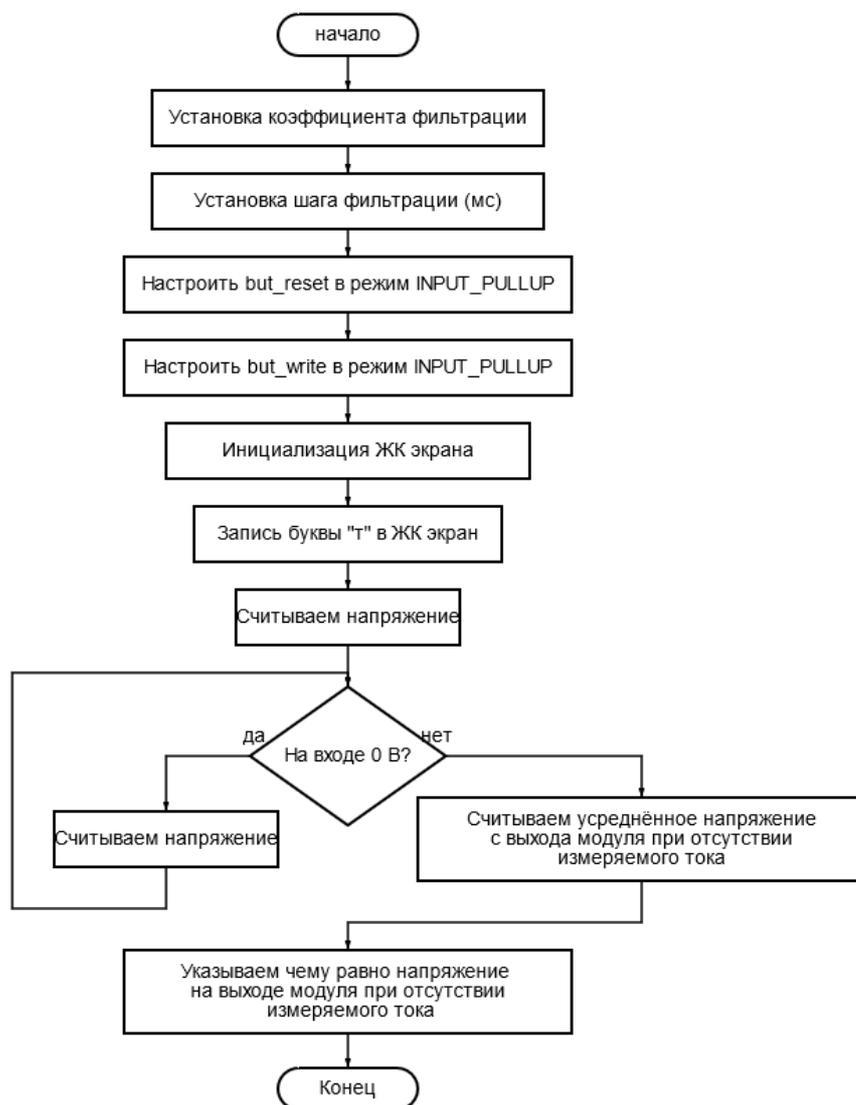


Рисунок 30 – Блок схема функции setup

И наконец, третья функция, которая так же считается обязательной для Arduino, это функция loop. Она переводится с английского как петля, потому что в процессе работы бесконечно повторяется.

В начале функции loop идет опрос кнопки сброса, и если она нажата, то происходит перекалибровка датчика функции. Блок схема этой части программы представлена на рисунке 31.



Рисунок 31 – Начало loop, опрос кнопки сброса

После кнопки сброса, по алгоритму опрашивается кнопка включения/выключения записи на карту памяти. Если кнопка нажата, то сначала на ЖК экран выводится соответствующее уведомление, после этого проверяем какой сейчас установлен режим. Если по логике программы необходимо включить запись, то пробуем инициализировать карту памяти, и в случае успеха устанавливаем флаг записи и записываем в файл data.txt строку «Start new session». Если инициализировать карту памяти не получилось, устанавливаем флаг ошибки. Если же по логике программы необходимо было выключить запись, то устанавливаем флаг запись

остановлена. В конце данного программного блока делаем паузу 250 мс. Блок схема нажатия на кнопку записи представлена на рисунке 32.

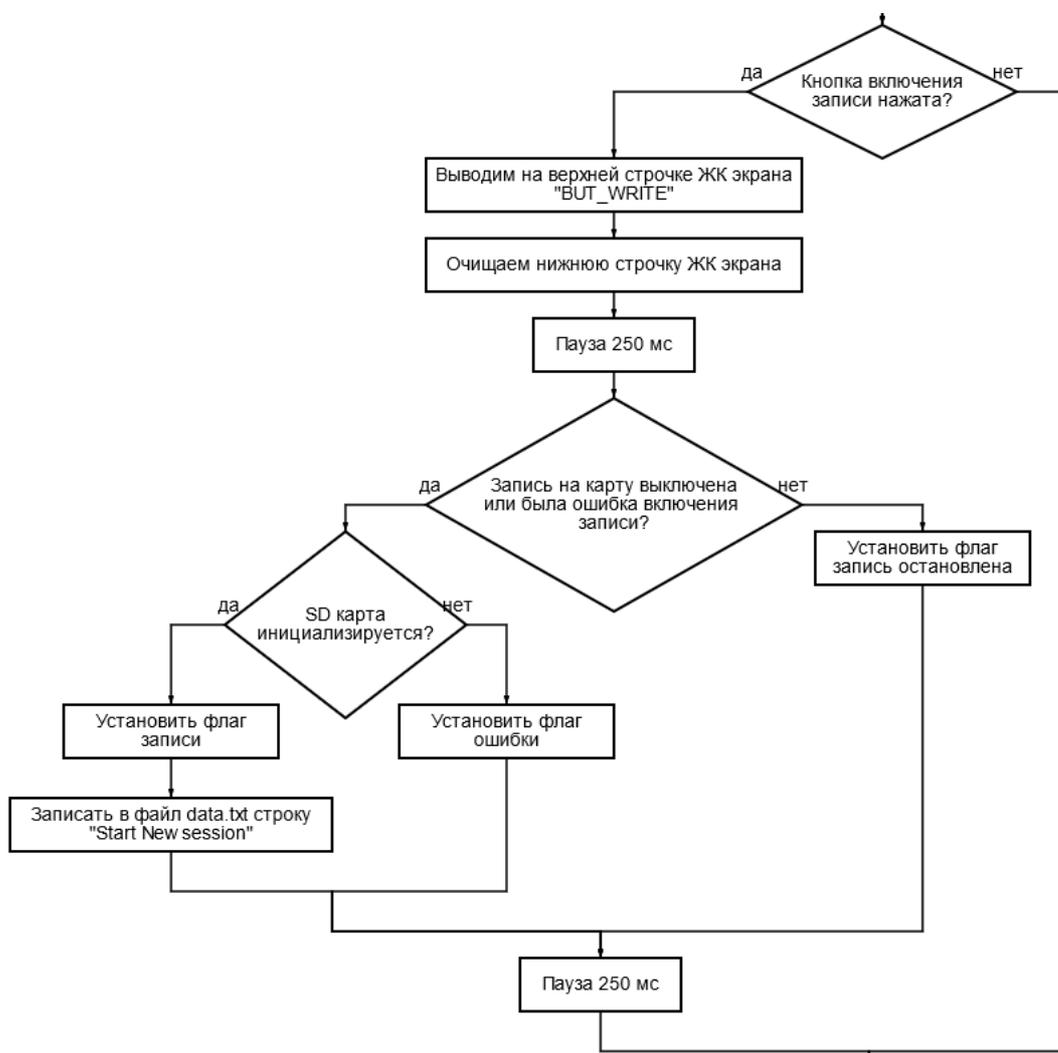


Рисунок 32 – Алгоритм работы кнопки включения/выключения записи

Следующий участок кода функции loop считывает показания датчиков, рассчитывает мощность и последовательно выводит информацию на ЖК экран. Сначала напряжение, затем силу тока и мощность. Далее, в зависимости от флага печатается уведомление, либо off (запись на SD карту выключена), либо err (запись на SD карту завершилась ошибкой), либо on (запись на SD карту успешно осуществляется). Блок схема данного участка кода представлена на рисунке 33.

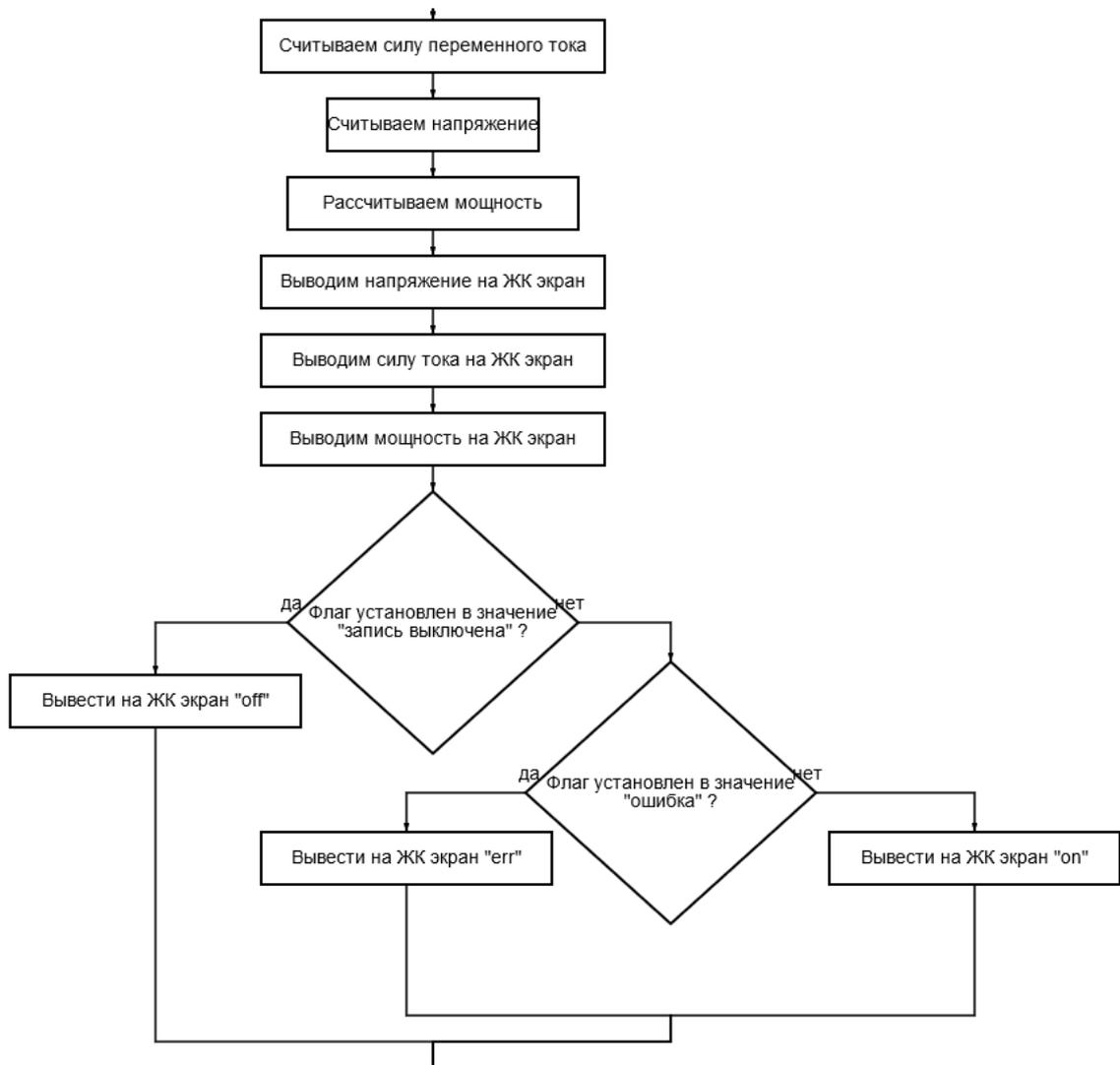


Рисунок 33 – Блок схема чтения показаний датчиков и вывода информации на ЖК экран

В завершении функции loop, если включен режим записи, то соответственно записываем информацию на SD карту. Но алгоритм задает этот вопрос дважды. Первый раз происходит проверка доступности карты памяти (открываем файл в режим чтения). Если же вдруг файл не открылся, то меняем флаг на ошибку. В случае если проверка пройдена успешно, осуществляет запись на карту. Блок схема этого участка кода представлена на рисунке 34.

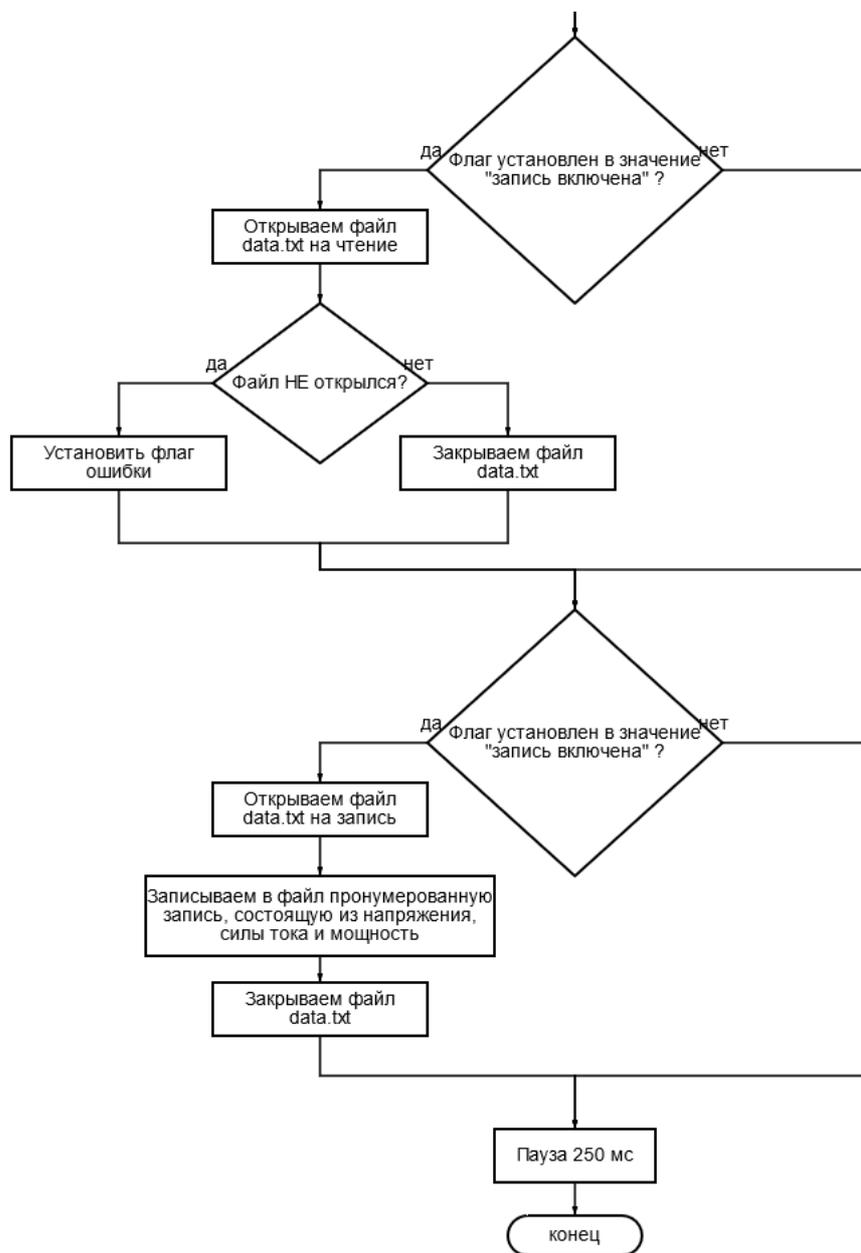


Рисунок 34 – Завершение функции loop, запись информации на SD карту

6 Результаты экспериментальных испытаний

В ходе выполнения проекта был успешно собран измеритель-регистратор электрических параметров. Устройство было собрано в соответствии с разработанной схемой и техническими требованиями, что позволило обеспечить его корректную работу и надежность. Внешний вид регистратора электрических параметров представлен на рисунке 35.



Рисунок 35 – Внешний вид регистратора электрических параметров

После завершения сборки измерителя-регистратора электрических параметров было проведено его тестирование. Устройство включает в себя

плату с микроконтроллером Arduino UNO, сенсоры тока и напряжения, а также дисплей для индикации параметров. Все соединения были выполнены с соблюдением необходимых мер безопасности и стандартов. Измеритель-регистратор позволяет подключать нагрузку через специальный разъем, который измеряет напряжение и силу тока, потребляемые нагрузкой. Данные измерения передаются в микроконтроллер, который обрабатывает полученные сигналы и выводит их на экран. Устройство также поддерживает возможность записи данных на SD-карту для дальнейшего анализа. Примеры записи показаний на SD-карте представлены на рисунке 36.

```
37 28. 228V ,0.00A, 0.00 W
38 29. 228V ,0.00A, 0.00 W
39 30. 227V ,0.00A, 0.00 W
40 31. 228V ,0.00A, 0.00 W
41 32. 227V ,0.43A, 97.14 W
42 33. 227V ,0.42A, 96.42 W
43 34. 227V ,0.44A, 99.66 W
44 35. 227V ,0.43A, 100.75 W
45 36. 228V ,0.44A, 98.55 W
46 37. 227V ,0.43A, 99.51 W
47 38. 228V ,0.43A, 97.11 W
48 39. 229V ,0.43A, 98.91 W
49 40. 226V ,0.45A, 101.97 W
50 41. 227V ,0.44A, 99.31 W
51 Start New session
52 104. 227V ,3.13A, 710.51 W
53 105. 229V ,3.14A, 719.06 W
54 106. 226V ,3.15A, 711.9 W
55 107. 227V ,3.15A, 715.05 W
56 108. 228V ,3.15A, 718.2 W
57 109. 229V ,3.15A, 721.35 W
58 110. 227V ,3.15A, 715.05 W
59 111. 227V ,3.15A, 715.05 W
60 112. 229V ,3.15A, 721.35 W
61 113. 228V ,3.15A, 718.2 W
62 114. 227V ,3.15A, 715.05 W
63 115. 227V ,3.15A, 715.05 W
64
65 139. 227V ,6.05A, 1373.35 W
66 140. 228V ,6.05A, 1379.4 W
67 141. 227V ,6.05A, 1373.35 W
68 142. 227V ,6.05A, 1373.35 W
69 143. 227V ,6.05A, 1373.35 W
70 144. 228V ,6.05A, 1379.4 W
71 145. 228V ,6.05A, 1379.4 W
72 146. 229V ,6.05A, 1385.45 W
73 147. 227V ,6.05A, 1373.35 W
74 148. 227V ,6.05A, 1373.35 W
75 149. 228V ,6.05A, 1379.4 W
76 150. 228V ,6.05A, 1379.4 W
77 151. 227V ,6.05A, 1373.35 W
78 152. 228V ,6.07A, 1383.96 W
79 153. 228V ,6.07A, 1383.96 W
80 154. 227V ,6.08A, 1380.16 W
```

Рисунок 36 – Записанные показания на SD-карте

Тестирование показало, что устройство корректно измеряет и отображает электрические параметры. Все заявленные функции работают стабильно и надежно. Измерения проводились на разных нагрузках, что подтвердило точность и надежность измерителя-регистратора.

В ходе тестирования было выявлено, что устройство успешно справляется с задачей регистрации данных. Записанные на SD-карту значения легко читаются и могут быть проанализированы на компьютере. Следовательно, разработанный измеритель-регистратор электрических параметров полностью соответствует поставленным целям и задачам. Таким образом, проект можно считать успешным, а разработанный измеритель-регистратор готовым к дальнейшему использованию и возможной доработке для расширения его функциональности.

7 Безопасность и экологичность проекта

В процессе разработки устройства, предназначенного для измерения и регистрации электрических параметров, нужно уделить должный приоритет вопросу безопасности. Основной целью является обеспечение защиты пользователей от возможных рисков, связанных с электричеством и использованием электрооборудования.

Разработанный регистратор будет работать в условиях, где требуется соблюдать строгие меры безопасности, чтобы предотвратить поражение электрическим током. Устройство имеет изоляцию, предотвращающую прямой контакт с оголенными проводниками и защитные ограждения от внутренних элементов. Кроме того, исключается использование устройства в условиях, где оно может подвергаться воздействию жидкости.

Поскольку в проекте реализована работа с высокими напряжениями и токами, необходимо обеспечить надежную изоляцию всех электрических соединений. Для этого будут использоваться термоусадочные трубки и электроизоляционная лента. При подключении электронных компонентов будет строго соблюдаться полярность элементов, чтобы избежать коротких замыканий и возможного возгорания.

В процессе эксплуатации устройства необходимо обращать внимание на надежность соединений всех проводников, и отсутствия повреждений изоляции. В случае обнаружения вышеуказанных недостатков, их необходимо устранить, а эксплуатацию устройства приостановить на время выполнения ремонтных работ.

Также для обеспечения безопасности рекомендуется установить кнопку аварийного отключения питания, что бы в случае необходимости была возможность моментально обесточить устройство.

В процессе разработки регистратора необходимо учитывать его влияние на окружающую среду. Основными материалами, используемыми в проекте, являются безопасные и экологически чистые компоненты. В

устройстве применен энергоэффективный микроконтроллер Arduino UNO, который имеет низкое энергопотребление.

В случае, если для питания устройства будет использоваться литий-ионный аккумулятор, то по истечении срока его годности, его нужно сдавать в специальные пункты утилизации, что бы минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Аналогичные требования предъявляются в случае использования классических батареек.

Использование модуля SD-карты для хранения данных минимизирует использование бумажных носителей, и, таким образом, снижает нагрузку на природные ресурсы.

Дополнительным приоритетным критерием выбора компонентов для проекта было их влияние на окружающую среду. Вред должен быть минимальным. Выбор отдавался в сторону экологической безопасности.

Подводя итоги раздела, делаем выводы, что проект учитывает и обеспечивает безопасность пользователей, и минимизирует негативное экологическое воздействие. Таким образом, разработанный регистратор будет безопасным и экологически чистым устройством.

8 Экономическая эффективность

На рисунке 37 представлена стоимость каждого элемента для сборки измерителя-регистратора электрических параметров, а так же общая стоимость проекта.

№	Наименование	Кол	Цена, р
1	Arduino UNO R3	1	300
2	Блок питания feron lb005-30w	1	643
3	Датчик тока ACS712	1	564
4	Датчик напряжения ZMPT101B	1	240
5	DataLogger Shield RTC DS1307 with SD card reader	1	123
6	LCD 1602 с модулем I2C	1	193
7	Модуль "Тактовая кнопка"	2	50
8	Вилка электрическая 16А 250В с заземл. бел. UNIVersal A101	1	61
9	Розетка 16А 250В PA16-003B Systeme Electric	2	146
10	Шлейф проводов DS1058	2	86
11	Основа из ЛДСП	1	860
12	Распределительная коробка	2	80
13	SD карта 16 Gb	1	350
14	Провод ПГВВП 3х2,5	2	119
15	Наконечник-гильза E2508 2,5мм ² уп.	1	291

Итого 4587

Рисунок 37 – Экономический расчет

Таким образом, себестоимость разработанного регистратора ниже в 2,5 раза самого дешевого регистратора, представленного в таблице 1. Следовательно, поскольку собственный регистратор спроектирован с учетом потребностей задач проекта, гибок в настройке и имеет конкурентоспособную стоимость, проект получился экономически эффективным.

Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы разработан измеритель-регистратор электрических параметров. Данное устройство измеряет напряжение и силу тока, рассчитывает мощность, отображает показания на экране и записывает их на карту памяти.

В первом разделе был проведен анализ рынка, и доказана актуальность разработки измерителя-регистратора электрических параметров.

Во втором разделе был осуществлен обзор подходящих комплектующих для регистратора, обоснован их выбор и подробно описана их настройка.

В третьем разделе разработана структурная схема измерителя-регистратора электрических параметров и представлен перечень всех используемых элементов.

В четвертом разделе была составлена и описана схема электрическая соединений.

В пятом разделе разработан программный алгоритм работы измерителя-регистратора электрических параметров, нарисованы блок-схемы каждой части программы, подробно описана ее логика работы.

В шестом разделе представлены результаты экспериментальных испытаний измерителя-регистратора электрических параметров.

В седьмом разделе были рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, возникающие в процессе разработки регистратора и его дальнейшей эксплуатации.

В восьмом разделе приведен экономический расчет измерителя-регистратора электрических параметров.

Таким образом, разработанное устройство может быть применимо в различных областях, таких как энергетика, автоматизация процессов и научных исследованиях. Оно представляет собой инструмент для мониторинга и анализа электропараметров сети.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Выбор мощности, тока и сечения проводов и кабелей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://eds-perm.ru/blog/sovety/vybor-moshchnosti-toka-i-secheniya-provodov-i-kabeley/> – (Дата обращения: 21.02.2024).
2. Датчик тока 20А (Трема-модуль) [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://iarduino.ru/shop/Sensory-Datchiki/datchik-toka-20a.html> – (Дата обращения: 14.03.2024).
3. Измерение переменного напряжения с помощью ZMPT101В и Arduino [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://robotchip.ru/izmerenie-peremennogo-napryazheniya-s-pomoshchyu-zmpt101b-i-arduino/> – (Дата обращения: 16.03.2024).
4. Измеритель-регистратор параметров электрических сетей MI-1АС [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.reallab.ru/catalog/energy-meters/MI-1AC/> – (Дата обращения: 16.02.2024).
5. Кнопки и управление [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.yourduino.ru/collection/knopki-i-upravlenie> – (Дата обращения: 05.03.2024).
6. Модуль датчика тока ACS712 20А [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://robot-kit.ru/3098/> – (Дата обращения: 14.03.2024).
7. Опрессовка проводов. Инструмент и виды гильз. Обжатие [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektroobustrojstvo/jelektroprovodka/opressovka-provodov/> – (Дата обращения: 21.02.2024).
8. Подключение sd карты к ардуино [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/podklyuchenie-sd-karty-k-arduino/> – (Дата обращения: 29.02.2024).
9. Регистратор данных PCE-KD7 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://pribori24.ru/prod/registrator-dannyx-pce-kd7/> – (Дата обращения: 15.02.2024).

10. Регистратор электрических процессов цифровой РПМ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://савэл.рф/rpm-416-registrator-elektricheskikh-processo1> – (Дата обращения: 14.02.2024).

11. РПМ-416 - регистратор электрических параметров [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://electroprogress.ru/catalog/izmerit/pribory-izmereniya-pokazatelei-kachestva-elektricheskoi-energii-pke/rpm-416-registrator-elektricheskikh-parametrov#prettyPhoto> – (Дата обращения: 16.02.2024).

12. Символьный дисплей LCD 1602 зеленый [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://robot-kit.ru/2149/> – (Дата обращения: 21.02.2024).

13. Сколько приборов можно включить в одну розетку [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://znaet.petrovich.ru/stroitelstvo/elektrika-kabelnye-sistemy/rozetki-i-vyklyuchateli/vopros-otvet/skolko-priborov-mozhno-vklyuchit-v-odnu-rozetku/> – (Дата обращения: 16.02.2024).

14. Трансформатор электронный для светодиодной ленты 30W 12V (драйвер), LB005 FERON [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://shop.feron.ru/catalog/bloki-pitaniya-dlya-lent-12v/transformator_elektronnyu_dlya_svetodiodnoy_lenty_30w_12v_drayver_lb005/ – (Дата обращения: 13.03.2024).

15. Фильтрация сигналов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://alexgyver.ru/lessons/filters/> – (Дата обращения: 16.03.2024).

16. Что такое "распределительная коробка" и где она применяется? [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.elektro.ru/articles/chto-takoe-i-gde-primenyayutsya-raspredelitelnye-korobki/> – (Дата обращения: 04.03.2024).

17. Что такое электрические измерения? [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://efekta.lv/ru/elektricheskie-izmereniya/> – (Дата обращения: 14.02.2024).

18. ACS712 Current Sensor Module (20A) [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://mybotic.com.my/sensor/acs712-current-sensor-module-20a> – (Дата обращения: 14.03.2024).

19. CMSIS Components [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.keil.com/pack/doc/CMSIS/Driver/html/group__i2c__interface__gr.html – (Дата обращения: 04.03.2024).

20. DataLogger Shield V1.0 RTC DS1307 with SD card reader - Shield for Arduino - Iduino ST1046 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://botland.store/arduino-shield-communication/8238-datalogger-shield-v10-rtc-ds1307-with-sd-card-reader-shield-for-arduino-iduino-st1046-5903351241205.html> – (Дата обращения: 01.03.2024).

21. Interfacing ZMPT101B Voltage Sensor with Arduino [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://electropeak.com/learn/interfacing-zmpt101b-voltage-sensor-with-arduino/> – (Дата обращения: 16.03.2024).

22. KD7 – Электронный регистратор параметров [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.energometrika.ru/catalog/kd7-elektronnyj-registrator-parametrov.html> – (Дата обращения: 15.02.2024).

23. P1414-MA-3R - анализатор параметров трехфазной сети с регистрацией [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.souz-pribor.ru/catalog/industrial_automation/izmeriteli-parametrov-elektricheskoy-seti/p1414-ma-3r/ – (Дата обращения: 19.02.2024).

24. Rolling Averages: What They Are and How To Calculate Them [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/what-is-rolling-average> – (Дата обращения: 16.03.2024).

25. Using the SD Card [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/using-the-sd-card> – (Дата обращения: 29.02.2024).